

DIGITALES TRANSFER ZENTRUM

EINE INITIATIVE VON FH SALZBURG & SALZBURG RESEARCH

WHITE PAPER

Digital Twins im Anlagen-Lebenszyklus



© Salzburg Research; Fotolia.com – macrovector, PureSolution; Shutterstock.com – M.Style

Georg Güntner, Simon Hoher (Hrsg.)
Mit Beiträgen von
Michael Eberle, Dietmar Glachs, Simon Kranzer, Georg Schäfer, Christoph Schranz

FH Salzburg

salzburgresearch

Das DTZ wird im Rahmen von WISS 2025 vom Land Salzburg gefördert

LAND SALZBURG

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.com

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **2**
Vorwort **3**
1 Von welchem digitalen Zwilling sprechen wir? **4**
1.1 Motivation 4
1.2 Kategorisierung von Digital Twins 5
1.3 Die vielen „Gesichter“ des Digital Twins 7
2 Virtuelle Inbetriebnahme mittels Digital Twins **10**
2.1 Ausprägungen des digitalen Zwillings 11
2.2 Simulationsarten in der virtuellen Inbetriebnahme 12
2.3 Vorteile von Simulationen 14
3 Anwendungsszenarien für die virtuelle Inbetriebnahme **15**
3.1 Gute Steuerungssoftware als Basis 15
3.2 Digitale Zwillinge im Engineering von Automatisierungslösungen 15
3.3 Mit virtueller Inbetriebnahme werden Projekte effizienter: Praxisbeispiel 16
4 Betrieb und Instandhaltung mittels Digital Twins **19**
4.1 Der digitale Lebenszyklus industrieller Anlagen 19
4.2 Die Rolle von Digital Twins im Asset Management 20
4.3 Der Nutzen von Digital Twins in Betrieb und Instandhaltung 20
5 Anwendungsszenarien in Betrieb und Instandhaltung **23**
5.1 Remote Service Konzepte mit dem Digital Twin 23
5.2 Pumpen und ihre digitalen Zwillinge 24
5.3 Robotik in der Cloud 25
6 Im Dickicht der Standards **26**
6.1 DIN SPEC 91345: RAMI4.0 und die Verwaltungsschale 27
6.2 ISO 55000: Asset Management 28
6.3 DIN 77005: Lebenslaufakte für technische Anlagen 29
6.4 VDI 2770: Digitale Herstellerinformation 29
6.5 VDMA 40001-1: OPC UA for Machinery 30
Anhang A: Referenzen **32**
Anhang B: Digitales Transferzentrum Salzburg (DTZ) **34**
Anhang C: Autoren **36**
Impressum **37**

Vorwort

Georg Güntner, Simon Hoher

Das Digitale Transferzentrum Salzburg (DTZ) wurde im Herbst 2017 gefördert mit Mitteln des Landes Salzburg im Rahmen von WISS 2025 mit dem Ziel gegründet, die Forschungsleistungen an der Fachhochschule Salzburg und bei Salzburg Research für die regionalen Wirtschaftsunternehmen zu bündeln und zugänglich zu machen.

Eines der vier Themenfelder des DTZ umfasste die Virtualisierung von Anlagen, Produkten und Prozessen in der industriellen Fertigung: Unter der Bezeichnung „Digital Twin“ werden alle Bestrebungen zusammengefasst, realen Objekten des industriellen Wertschöpfungsprozesses ein digitales Abbild zur Seite zu stellen. Der Prozess dieser Virtualisierung wird dann auch folgerichtig als „**Digital Twinning**“ bezeichnet.

Digitale Zwillinge haben in praktisch allen Phasen des Anlagen-Lebenszyklus vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Im DTZ lag der Fokus der Aktivitäten auf der Entwicklungs-, der Inbetriebnahme-, der Betriebs- und der Instandhaltungs-Phase. Die dortigen Möglichkeiten wurden den Unternehmen über verschiedene Mittel zugänglich gemacht:

- Die **DTZ-Symposien** boten Fachvorträge aus den vier Themenfeldern des DTZ, in denen jeweils eine Expert/-in des DTZ und/oder ein Unternehmensvertreter/-in über den theoretischen und den praktischen Rahmen der Anwendung von Digital Twins berichteten.
- Ein weiteres Mittel zur Veranschaulichung der Digital Twin Konzepte am DTZ bildeten die an den Labors in Urstein und an der Science City Itzling entwickelten **Demonstratoren**, z.B. die Steuerung eines digitalen Modells eines Lastenkrans, die Sammlung und Visualisierung von Anlagen- und Umgebungsdaten zur Erkennung von Anomalien, ein selbstlernendes System in der Anlagenentwicklung sowie die virtuelle Abbildung von Robotersystemen in einem dreidimensionalen Modell und anhand von Kennwerten für Betrieb und Instandhaltung.
- Der intensivste Austausch mit den Unternehmensvertreter/-innen bestand aber in den vom DTZ angebotenen **Digitalisierungsgesprächen**: Hier ging es darum, orientiert an den Anforderungen der Unternehmen Lösungsansätze und –konzepte durch den Einsatz von digitalen Zwillingen vorzustellen und zu entwickeln. Dabei ging es um die Erhebung und Mitgestaltung des Potenzials von Digital Twins für die Betriebe der Region.

In dem vorliegenden Bericht haben wir wichtige konzeptionelle Grundlagen von Digital Twins im Anlagen-Lebenszyklus und Beispiele für deren Anwendung und Nutzung in der industriellen Praxis zusammengestellt. Uns ist bewusst, dass wir das Thema Digital Twins weder in seiner Breite noch in seiner technischen Komplexität in diesem White Paper auch nur annähernd vollständig behandeln können: Wir haben daher eine von unserem jeweiligen fachlichen Hintergrund geprägte Auswahl für das Konzept der Digital Twins getroffen: Der Fokus der Beiträge liegt einerseits auf Anwendungen in der **Entwicklungs-** und **Inbetriebnahme-Phase** (Abschnitte 2 und 3), und andererseits auf der Nutzung in der **Betriebs-** und **Instandhaltungs-Phase** (Abschnitte 4 und 5) von Anlagen. Ein Beitrag über die grundlegende Kategorisierung von Digital Twins (Abschnitt 1), die Darstellung relevanter Standards (Abschnitt 6) und ein Literaturverzeichnis (Anhang A) für weiterführende Informationen zum Thema Digital Twins runden den Bericht ab.

Salzburg, im September 2020

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

1 Von welchem digitalen Zwilling sprechen wir?

Potenziale, Kategorisierung und Anwendungsfelder von Digital Twins im Anlagen-Lebenszyklus

Georg Güntner

Im Themenfeld „Digital Twin“ des Digitalen Transferzentrums Salzburg (DTZ) erfolgt eine systematische Untersuchung der Potenziale von digitalen Zwillingen. Die Ausgangsbasis bildet dabei die These, dass durch Industrie 4.0 reale und virtuelle Welt zunehmend vernetzt werden. Der Digital Twin eines Produkts, einer Produktionsanlage oder eines Prozesses spielt eine immer größere Rolle im gesamten Produkt- bzw. Anlagenlebenszyklus. Im folgenden Beitrag geben wir einen Überblick über die unterschiedlichen „Gesichter“ von digitalen Zwillingen in industriellen Wertschöpfungsprozessen und zeigen eine Möglichkeit zur Kategorisierung.

1.1 Motivation

Das renommierte amerikanische Marktforschungsunternehmen Gartner hat 2017 die Digital Twins zu einem der zehn bedeutendsten technologischen Trends erklärt. Auch die Hannover Messe 2018 widmete dem Thema Digital Twin einen Schwerpunkt. Bei der internationalen Digital Twin Konferenz[1] im Dezember 2019 wurden eine Reihe von Anwendungsszenarien vorgestellt, die bei der digitalen Anlagen-Kennzeichnung starteten und über die Einführung von Sensoren zur Zustandsüberwachung bis hin zu Simulationsmodellen und analytischen Verfahren zur Erhöhung der Asset Performance und Prognose von Anlagenausfällen reichten.

Definition

Eine allgemeine Definition des Begriffs **digitaler Zwilling** findet sich im Gabler Wirtschaftslexikon: „Ein digitaler Zwilling (englisch ‚Digital Twin‘) bezieht sich auf ein computergestütztes Modell eines materiellen oder immateriellen Objekts, welches für verschiedene Zwecke verwendet werden kann.“ (Quelle: Gabler Wirtschaftslexikon[2]). Unter „(Digital) **Twinning**“ werden in jüngster Zeit verstärkt Prozesse zur Entwicklung, Einführung und Nutzung von Digital Twins in Unternehmen zusammengefasst.

Digital Twins für industrielle Assets

In die industrielle Fertigung übertragen treten an die Stelle der materiellen Objekte Maschinen und Anlagen (**industrielle Assets**) sowie deren Komponenten, aber auch Werkzeuge, Ersatzteile und die erzeugten Halb- und Fertig-Produkte. Die computergestützten Modelle bilden die geometrischen, kinetischen und/oder Zustandsinformationen dieser Objekte ab. Immaterielle Objekte sind im industriellen Kontext beispielsweise die Produktions- und Instandhaltungsprozesse.

---

[1] Konferenz „Digital Twin 2019“ (manetch): www.manetch.com/events/dtw19
[2] Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon: „Digitaler Zwilling“ (2017). Online: wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371/version-189152

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Integrationstiefe zwischen realem und digitalem Objekt

Eine grundlegende Unterscheidung in der Verbindung zwischen realen und digitalen Objekten ist anhand der Integrationstiefe möglich: Werner Kritzinger u.a. [Kritz2018] verwenden in ihrem Literaturüberblick über Digital Twins in der Fertigung eine begriffliche Einteilung, die auf drei Ebenen der Integration beruht:

- **Digitales Modell (Digital Model)**: Ein digitales Modell bildet ein digitales Abbild eines realen Objekts ohne die Verwendung eines automatisierten Datenaustauschs zwischen dem physischen Objekt und seinem digitalen Pendant. Bespiele hierfür sind Simulationsmodelle von Anlagen oder Fabriken oder mathematische Modelle von Produkten.
- **Digitaler Schatten (Digital Shadow):** Dieses Konzept beschreibt eine Erweiterung des digitalen Modells, indem es einen unidirektionalen automatisierten Datenaustausch zwischen dem realen Objekt und seinem digitalen Modell gibt. eine Zustandsänderung im realen Objekt führt zu einer Zustandsänderung in der digitalen Repräsentation. Beispiele sind die heute verfügbaren meist cloudbasierten Lösungen zum Monitoring von Anlagen und zur Visualisierung von Betriebszuständen.
- **Digitaler Zwilling (Digital Twin):** Digitale Zwillinge erweitern das Konzept des digitalen Schattens, indem der Informationsfluss zwischen realem und digitalem Objekt bidirektional (und nicht mehr nur vom realen zum digitalen Objekt) erfolgt. Das digitale Pendant greift in das reale Objekt ein, indem es Daten oder Steuerungsinformationen an das reale Objekt überträgt. Beispiel sind Anwendungen von digitaler Repräsentation von Anlagen zur frühzeitigen Vorhersage und Erkennung von Fehlern und Stillständen (Predictive Maintenance) oder zur Optimierung von Betriebsparametern zur Qualitätsverbesserung.

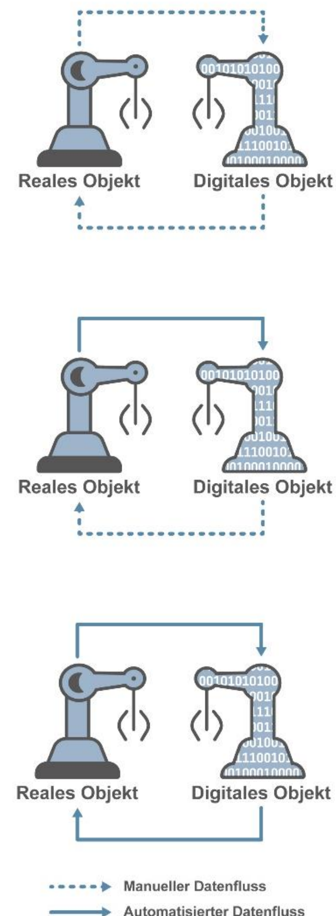


Abbildung 1: Integrationstiefe zwischen realen und digitalen Objekten
(nach [Kritz2018])

Im vorliegenden Bericht wird der Begriff „Digital Twin“ als Synonym für die beiden Arten von datengetriebenen virtuellen Abbildern von realen Objekten (industriellen Anlagen und deren Komponenten) verstanden: Er umfasst also „Digital Shadows“ und „Digital Twins“ (im engeren Sinn) gleichermaßen.

1.2 Kategorisierung von Digital Twins

In den Gesprächen mit Unternehmen und Lösungsanbietern über die Realisierung von Digital Twins wurden die Forscher am DTZ immer wieder mit der Frage konfrontiert, wie eine technologische Implementierung des Konzepts der digitalen Zwillinge erfolgen kann. Dabei traten unterschiedliche Sichtweisen auf die Problemstellung, unterschiedliche Anforderungen an den Nutzen, und unterschiedliche Make-or-Buy-Fragestellungen auf.

Um eine grundsätzliche Einteilung von Digital Twins im Sinne einer Kategorisierung zu ermöglichen, sei auf eine Arbeit des Beratungsunternehmens IoT Analytics zurückgegriffen, die unter

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

dem Titel „Wie unterscheiden sich die 250 Digital Twins“ („How the world’s 250 Digital Twins compare? Same, same but different“)[3].

Grundsätzlich ist die dort getroffene Einteilung für alle Arten von digitalen Zwillingen getroffen worden: Sie bezieht sich insbesondere nicht ausschließlich auf den Bereich der Fertigung und der industriellen Assets.

Das Modell der Hamburger Forscher unterscheidet drei Dimensionen (eine Darstellung der Kategorien nach der Einteilung von IoT Analytics GmbH zeigt Abbildung 2):

1. **Hierarchie-Stufen:** Hierbei handelt es sich um eine Unterscheidung nach der hierarchischen Komplexität des digital abgebildeten Objekts. Diese reicht von Informationsobjekten (wie z.B. Betriebs- und Wartungshandbücher) über Komponenten, Produkte und Prozesse bis hin zu Systemen und Multi-Systemen.
2. **Lebenszyklus-Phasen:** Diese umfassen alle Phasen der Produkt- bzw. Anlagenentwicklung vom Design und der Entwicklung (Engineering) über den Betrieb und die Instandhaltung bis zur Optimierung und zur Stilllegung.
3. **Anwendungsgebiete:** Durch Analyse des Digital Twin Markts identifizierten die Hamburger Forscher eine Reihe von grundlegenden Anwendungsgebieten für Digital Twins (diese werden grundsätzlich als erweiterbar angesehen): Darunter fallen Anwendungen im Bereich von Digitalisierung, Visualisierung, Simulation, Emulation, Extraktion (Erfassung von Sensor-Datenströmen), Orchestrierung (virtuelle Steuerung) und Vorhersage.

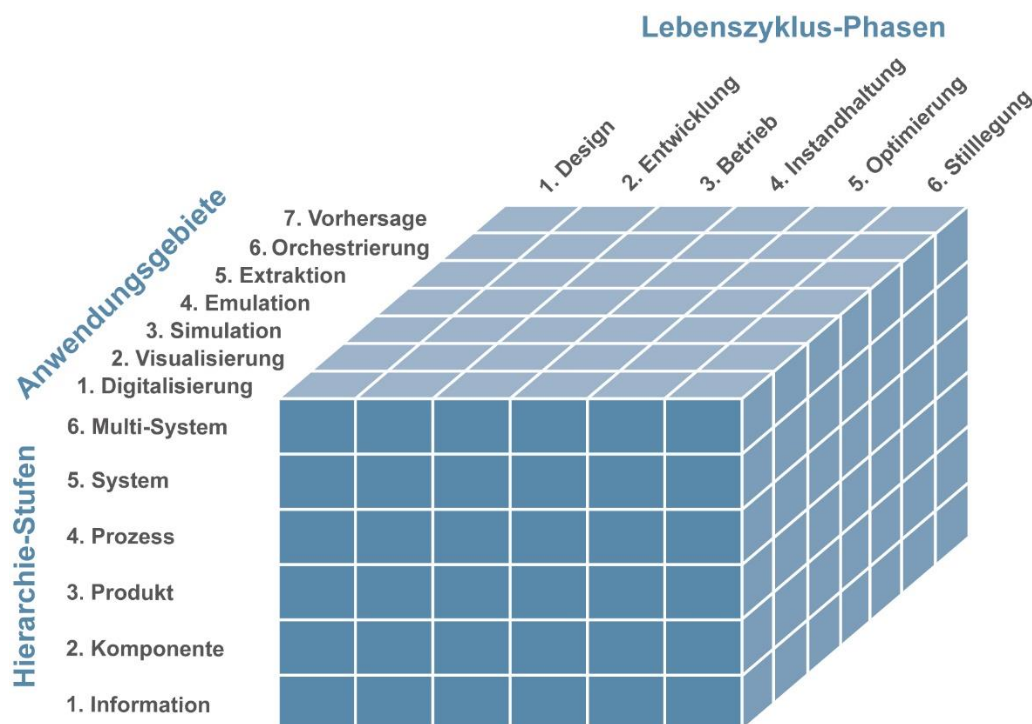


Abbildung 2: Klassifikations-Modell für Digital Twins
Quelle: „The 250 classifications of a Digital Twin“ (IoT Analytics GmbH)

Das Klassifikationsmodell unterstützt bei der Realisierung von Digital Twin Projekten, indem es eine Positionierung der Anforderungen und des erwarteten Nutzens sowie die Kommunikation mit den Anbietern erleichtert: Welche Aspekte sollen in einem Projekt berücksichtigt

[3] IoT Analytics GmbH: „How the world’s 250 Digital Twins compare? Same, same but different.“ (2020) – online: https://iot-analytics.com/how-the-worlds-250-digital-twins-compare/

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

werden? Welche sind im Sinne einer Abgrenzung nicht Teil des Projekts? Gibt es umgekehrt Aspekte, die in den initialen Anforderungen nicht berücksichtigt wurden, die aber einen zusätzlichen Nutzen generieren?

1.3 Die vielen „Gesichter“ des Digital Twins

Die vielfältigen eingangs gezeigten Klassifikations- und Kategorisierungsmöglichkeiten zeigen, dass ein Digital Twin sehr unterschiedliche Erscheinungsformen („Gesichter“) haben kann. Im Bereich der industriellen Anlagen und der sie umgebenden Informationssysteme spielen Digital Twins ihr volles Potenzial wohl dann aus, wenn sie die über eine reale Anlage verfügbaren digitalen Informationen intelligent verknüpfen und dadurch zu einem für den jeweiligen Anwendungsbereich vollständigeren digitalen Abbild der Anlage kommen. Ein Digital Twin kann also viele verschiedene Gesichter haben. Allein die Anwendung und der geplante Nutzen entscheiden, welcher Ausschnitt des gesamten digitalen Abbilds umgesetzt wird.

Digitale Zwillinge als fachübergreifender Ansatz

Die Informationen, die das digitale Modell eines industriellen Assets formen, kommen – unabhängig von der Integrationstiefe und der betrachteten Lebenszyklus-Phase – aus verschiedenen Fachbereichen (siehe Abbildung 3):

- dem Produktionsplanungs- und Steuerungs-System (ERP-System),
- den Supply-Chain-Management-Systemen,
- den Konstruktions- und Entwicklungsabteilungen mit den dort eingesetzten CAD- und Simulations-Systemen,
- den Instandhaltungsabteilungen mit den dort eigesetzten CMMS-Systemen (Computerized Maintenance Management System bzw. Instandhaltungsplanungssystem),
- den Produktionsabteilungen und den dort eingesetzten Betriebsdatenerfassungs- und SCADA-Systemen,
- den Dokumentationsabteilungen,
- den Asset Management Abteilungen,
- den IT-Abteilungen und den dort verwalteten Datenhaltungssystemen einschließlich der Cloud-Plattformen.

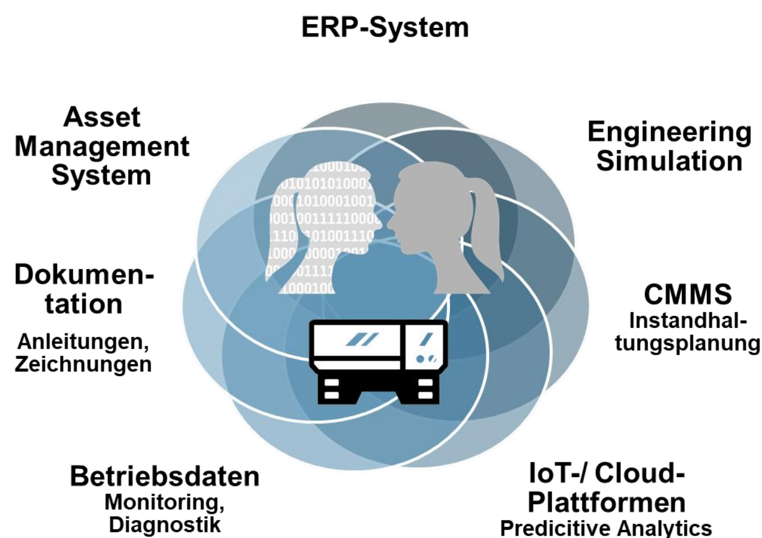


Abbildung 3: Informationsintegration im Digital Twin
(© Salzburg Research)

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Das Puzzle der Daten und Informationen eines digitalen Zwillings

Zur Erstellung des digitalen Modells eines industriellen Assets werden, wie in Abbildung 3 dargestellt, Informationen aus unterschiedlichen IT-Systemen und Fachbereichen integriert. Die Liste der möglichen/relevanten Informationen umfasst dabei:

- Die Stammdaten der Anlage: z.B. die beschreibenden Daten eines technischen Platzes, die „Verwaltungsschale" von RAMI 4.0 (vgl. [BMWi2016], [DIN91345-2016]), dazu gehören auch Ortskoordinaten (für Weg- und Lagebeschreibung) und kennzeichnende RFID-Codes (für die Identifikation von Anlagen und Bauteilen), usw.
- Die Anlagenstruktur: z.B. aus dem CAD-System beim Hersteller, dem ERP-System, dem CMMS-System, usw.
- Instandhaltungspläne und die Dokumentation von Instandhaltungsmaßnahmen: üblicherweise im CMMS (Computerized Maintenance Management System) verwaltet.
- Die Betriebs- und Prozessdaten als Basis für Monitoring, Diagnostik und Predictive Maintenance: Dies entspricht dem eingangs erwähnten Aspekt der Sensorik, kann jedoch um weitere Informationen ergänzt werden (Position, Bewegung, Formen, usw.).
- Die 3D-/CAD-Modelle der Anlage: diese unterstützen neben der kinetischen Simulation auch Schulungsmaßnahmen und Instandhaltungsanleitungen mit Augmented Reality und Virtual Reality (z.B. für Assistenzsysteme).
- Die Anlagen-Dokumentation: CAD-Zeichnungen, Betriebs- und Wartungsanleitungen (auch audiovisuelle Aufzeichnungen über die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen), Prüfbescheide, Zertifikate, usw. Dies ist die Domäne von Dokumenten-Verwaltungssystemen (DMS).
- Dynamische Modelle der Anlage für Simulationszwecke (z.B. für virtuelle Steuerungskonzepte und für Tests in der Inbetriebnahme-Phase).
- Informationen zum Lebenszyklus: Änderungsdokumentation, historische Information über Störmeldungen, Stillstände und Instandhaltungsmaßnahmen.

Gesamtkonzept für den Digital Twin



Abbildung 4: Digital Twins unterstützen in der Ausbildung
(© Salzburg Research, fotolia.com, Gorodenkoff)

Die Integration und Beherrschung der Vielfalt der in einem Digital Twin zusammenlaufenden Informationen und Daten ist eine durchaus komplexe Aufgabe, der sich Software-Anbieter (z.B. ERP-Lösungen, IoT-Plattformen), Systemintegratoren, Anlagen-Herstellern und Service-Anbietern aus verschiedenen Blickwinkeln annähern. Die Unternehmen sind bei der Wahl der richtigen Digitalisierungsstrategie und ihrer Partner durchaus gefordert.

Aber es ist nicht die Entwicklungs-, Produktions- oder Instandhaltungsabteilung allein, die das Konzept und die Implementierung einer Digital Twin Lösung beauftragen muss. Vielmehr geht

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

es um ein **Gesamtkonzept** für das digitale Modell eines industriellen Assets, an dem die IT-, Engineering-, Produktions-, Instandhaltungs- und Asset Management Abteilungen gleichermaßen – und oft über die Unternehmensgrenzen (z.B. Anlagen-Hersteller, Service-Anbieter) hinaus – beteiligt sind. Die Aufgabe der Instandhaltungs-Abteilung besteht darin, dafür zu sorgen, dass ihre wichtigsten Anliegen in einer Digital Twin Implementierung berücksichtigt werden: Dazu gehören das Monitoring (z.B. Instandhaltungs-Dashboards), die Unterstützung fortschrittliche Instandhaltungsstrategien (nutzungs- oder zustandsorientierte Instandhaltung), komplexe Prognostik (z.B. Predictive Maintenance), die Verfügbarkeit von Dokumentation und multimedialen Anleitungen, AR-/VR-Assistenzsysteme für die Instandhaltung.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

2 Virtuelle Inbetriebnahme mittels Digital Twins

Simulationsmodelle für die Entwicklung von mechatronischen Systemen

Georg Schäfer

Der Beitrag beschreibt, wie die Entwicklung von mechatronischen Systemen durch den Einsatz von digitalen Zwillingen parallelisiert werden kann: Die virtuelle Inbetriebnahme wird durch Simulationskonzepte, wie Model-, Software- und Hardware-in-the-Loop, unterstützt. Unterschiedliche Ausprägungen von digitalen Zwillingen begünstigen dabei ganzheitlich mit verschiedenen Eigenschaften die Inbetriebnahme von industriellen Anlagen.

Eine große Herausforderung bei der Entwicklung von mechatronischen Systemen bildet das interdisziplinäre Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik und Informatik. Die starke Abhängigkeit dieser Disziplinen kann bei ineffizienter Parallelisierung zu längeren Fertigungszeiten und Qualitätseinbußen führen. Ursache dafür ist, dass das Testen der Anlagenfunktionalität erst nach Abschluss der Hardwarekonfigurationen möglich ist.

Mit Hilfe von digitalen Zwillingen lässt sich in den verschiedenen Phasen der Produktion von Industrieanlagen das Produkt und dessen Eigenschaften bereits im Vorfeld virtuell erproben. Abbildung 5 zeigt den parallelisierbaren Entwicklungsprozess einer Industrieanlage mit der Unterstützung eines digitalen Zwillings. Hierbei greifen alle involvierten Disziplinen, also Mechanik, Elektrik und Informatik, auf den digitalen Zwilling der Anlage zu, um das mechatronische System ganzheitlich zu entwickeln.

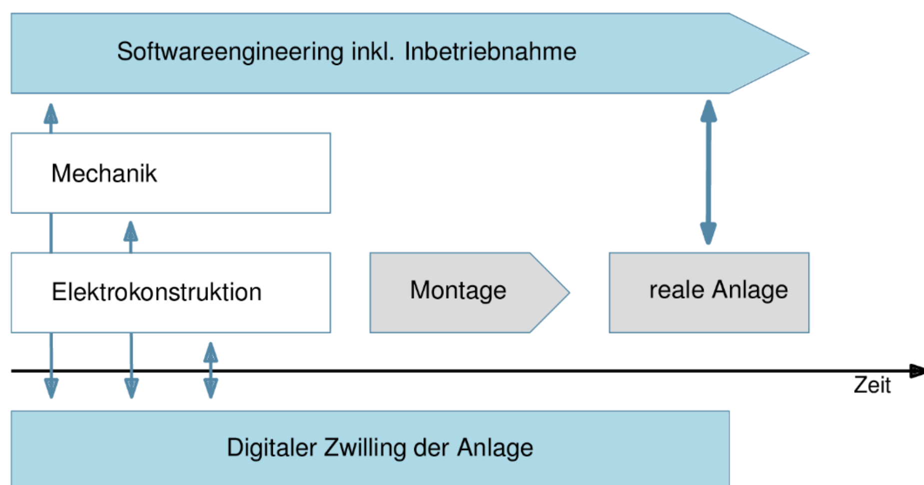


Abbildung 5: Engineering Prozess einer Industrieanlage
(Quelle: [ISG2020])

Der digitale Zwilling der Anlage ermöglicht durch die virtuelle Inbetriebnahme ein enormes Optimierungspotential im Engineering-Prozess. In fast allen Bereichen der Automatisierungstechnik, wie beispielsweise der Prozess- und Fertigungsautomatisierung, der Intralogistik sowie der Gebäudetechnik, können Methoden der virtuellen Inbetriebnahme eingesetzt werden [VDI3693]. Diese Methoden werden verwendet, um Fehler im Steuerungscode, wie logische Fehler und Ablauffehler, Fehler in der Bedienoberfläche, sowie Fehler des dynamischen Verhaltens zu identifizieren [VDI4499].

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

2.1 Ausprägungen des digitalen Zwillings

Unterschiedliche Ausprägungen des digitalen Zwillings unterstützen die Entwicklung von mechatronischen Anlagen in den verschiedenen Phasen der Produktentwicklung. In der VDI-Richtlinie *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme* [VDI2206] werden Methodiken vorgestellt, welche die interdisziplinäre Entwicklung mechatronischer Systeme unterstützen.

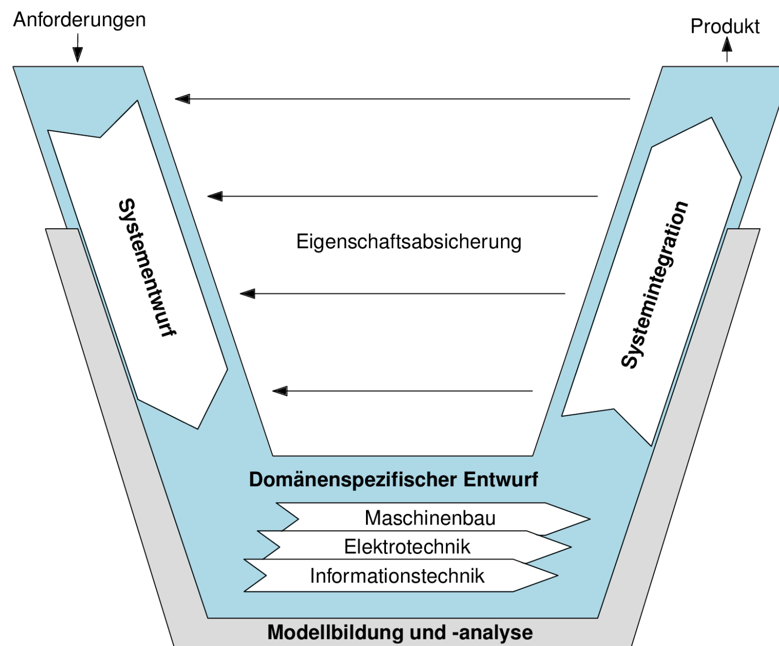


Abbildung 6: V-Modell als Makrozyklus
(Quelle: [Brökel2015])

Das V-Model beschreibt im Bereich des Software-Engineerings eine generische Vorgehensweise für den Entwurf von mechatronischen Systemen, bei dem die folgenden Phasen durchlaufen werden [Brökel2015]:

- Anforderungen: Als Startpunkt muss die gegebene Aufgabenstellung anhand von Anforderungen festgelegt und definiert werden, um die Problemstellung zu präzisieren. Diese Anforderungen dienen im späteren Lauf der Evaluierung.
- Systementwurf: Ein domänenübergreifendes Lösungskonzept muss gefunden werden, welches die wesentlichen physikalischen und logischen Eigenschaften festlegt.
- Domänenspezifischer Entwurf**:** Ein detailliertes, domänenspezifisches Lösungskonzept muss von beteiligten Disziplinen, wie Mechanik, Elektronik und Informatik, ausgearbeitet werden.
- Systemintegration: Die domänenspezifischen Lösungskonzepte werden zu einem Gesamtkonzept zusammengefasst.
- Eigenschaftsabsicherung: Anhand der gegebenen Anforderungen und dem Lösungskonzept müssen die tatsächlichen Systemeigenschaften verifiziert und validiert werden.
- Modellbildung und -analyse: Die Systemeigenschaften können mit Analyse- und Simulationswerkzeugen in Form von Software in der Entwicklungsphase untersucht werden.
- Produkt: Das Produkt ist das Ergebnis eines Durchlaufs des Makrozyklus. Dabei muss es sich nicht zwingendermaßen um das Endergebnis handeln.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Um Systementwurf, domänenspezifischen Entwurf und die Phase der Systemintegration und die darin involvierten unterschiedlichen Disziplinen zu unterstützen, werden verschiedene Simulationsarten verwendet. Abbildung 7 zeigt den allgemeinen Aufbau eines Systems der Automatisierungstechnik (AT) mit den für die virtuelle Inbetriebnahme relevanten Komponenten. Das HMI (Benutzerschnittstelle), ermöglicht dem Menschen eine Interaktionsmöglichkeit mit der Anlage. Diese ist mit der Steuerung beziehungsweise dem Automatisierungssystem verbunden, auf welcher die Automatisierungssoftware ausgeführt wird. Über die Kommunikationsperipherie werden in Echtzeit die Aktoren der Anlage gesetzt und im selben Zyklus die Sensorwerte dem Automatisierungssystem kommuniziert. Diese Darstellung eines Automatisierungstechnik-Systems wird für die Erläuterung der verschiedenen Ausprägungen des digitalen Zwillings in den folgenden Abschnitten verwendet.

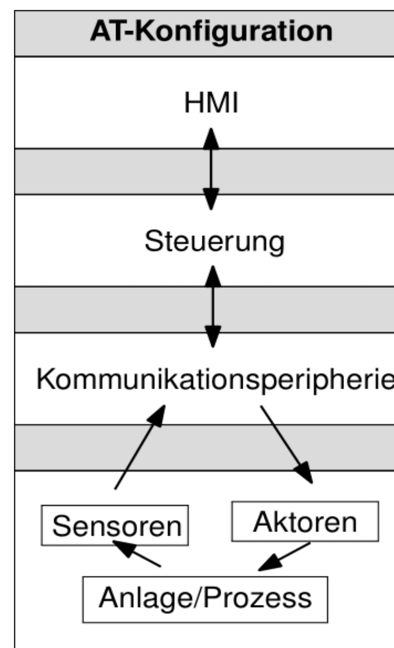


Abbildung 7: Generalisierter Aufbau eines Automatisierungstechnik-Systems (Quelle: [VDI3693])

2.2 Simulationsarten in der virtuellen Inbetriebnahme

Model-in-the-Loop

Unter einer Model-in-the-Loop (MiL) Simulationsart versteht man ein Simulationsmodell eines digitalen Zwillings, der vor allem in frühen Entwicklungsphasen des Designs mechatronischer Systeme Anwendung findet. Eine MiL-Simulation unterstützt die Entwicklung eines funktionalen Systementwurfs und ermöglicht es den verschiedenen Disziplinen der Mechatronik, die Dynamik und logische Funktionen des zu entwickelnden Systems virtuell zu erproben. Hierfür werden an mathematischen und physikbasierten Modellen, ohne der Verwendung von realer Hardware, Signale in einer virtualisierten Umgebung untersucht ([Berg2016]). Mit dieser Simulationsart lässt sich kein Steuerungscode der Anlage testen, da für die Programmlogik eine Modellsprache, welche beispielsweise auf Automaten beruht, verwendet wird. Diese Anlagenmodelle haben zumeist eine geringe Komplexität, was eine Ausführung auf einem handelsüblichen Rechner ermöglicht, wie in Abbildung 8 zu sehen ist. Um realen Steuerungscode zu testen, ist eine weitere Spielart bestimmter Simulationen nötig, welche im nächsten Abschnitt näher beschrieben wird.

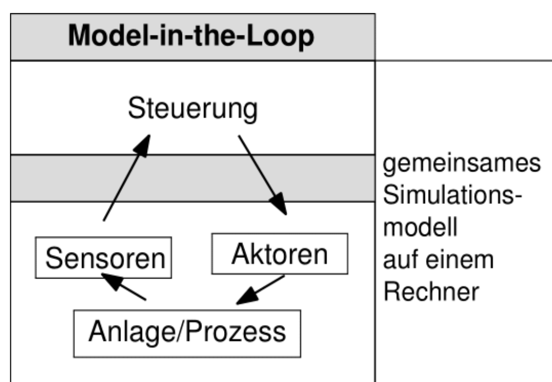


Abbildung 8: Model-in-the-Loop-Simulation (Quelle: [VDI3693])

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Software-in-the-Loop

Bei einer Software-in-the-Loop (SiL) Simulation wird das Steuerungssystem mit der Steuerungslogik emuliert sowie das Anlagenmodell und die Kommunikationsperipherie virtuell simuliert, um eine hardwareunabhängige Entwicklung zu ermöglichen, wie in Abbildung 9 gezeigt wird. Dadurch können auch komplexe und detaillierte Anlagenmodelle simuliert werden, da diese nicht an Echtzeitanforderungen gebunden sind. Das bedeutet, dass Simulationen sowohl langsamer als auch schneller als die Realzeit ablaufen können. So können komplexe Aufgaben, wie beispielsweise die Berechnung von Reibungen bei Materialflussanlagen, simuliert werden. SiL-Simulationen finden vor allem in der Implementierungsphase Anwendung. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichzeit zur Durchführung frühzeitiger Logiktests, um mögliche Fehler in Funktionen und Algorithmen zu identifizieren. Bei einer SiL-Simulation liegt der Steuerungscode als Seriencode vor, was das Testen der realen Programmlogik (z.B. nach EN 61131-3) ermöglicht. Um anschließend die eingesetzte Hardware eingehend prüfen zu können, wird eine eigene Umgebung entwickelt, die das Simulationsmodell und die reale Hardware koppelt – das Hardware-in-the-Loop-System.

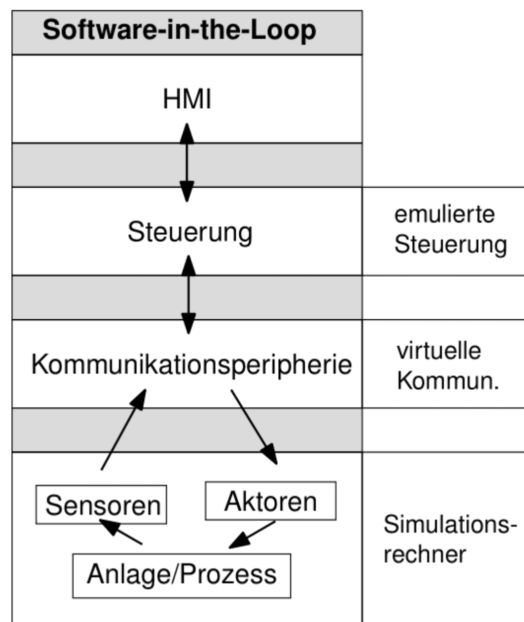


Abbildung 9: Software-in-the-Loop-Simulation
(Quelle: [VDI3693])

Hardware-in-the-Loop

Bei einer Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulation wird realer Zielsteuerungscode auf einer realen Steuerung gegen ein simulierten Anlagenmodell getestet (vgl. Abbildung 10). Für die virtuelle Inbetriebnahme werden in Wissenschaft und Praxis vorrangig Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulationen verwendet [Brökel2015]. Für die Kopplung des realen Steuerungssystems mit einem Simulationsmodell werden häufig Feldbussysteme verwendet, da diese ebenfalls bei der realen Anlage Anwendung finden. Durch eine schrittweise Ersetzung simulierter Komponenten durch reale Hardware ist es möglich, ein mechatronisches System ganzheitlich in Betrieb zu nehmen [Rode2018]. Durch die Verwendung der realen Hardware lässt sich das System auf gegebene Echtzeitanforderungen, wie minimale Zykluszeiten, und die Busauslastung testen. Daher werden HiL-Simulationen häufig für Integrationstests eingesetzt [Brökel2015].

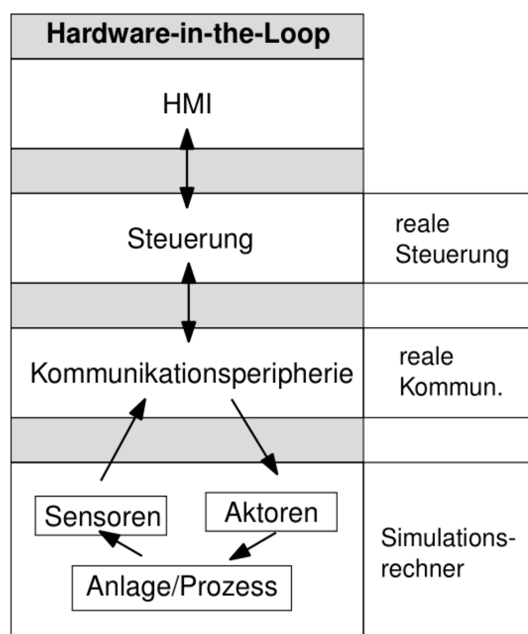


Abbildung 10: Hardware-in-the-Loop-Simulation
(Quelle: [VDI3693])

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

2.3 Vorteile von Simulationen

Simulationen bieten einen wesentlichen Mehrwert für die Entwicklung von mechatronischen Systemen. In der [VDI3693] werden einige Vorteile für die Verwendung von Simulationen in der virtuellen Inbetriebnahme genannt. Dazu gehört beispielsweise, dass Simulationen für das Testen von kritischen Zuständen, die Schäden an Menschen, der Umwelt und der Anlage selbst verursachen würden, eingesetzt werden können. Durch das virtuelle Testen von kritischen Abläufen kann somit der potenzielle Schaden und die daraus resultierenden Auswirkungen risikofrei erprobt werden.

Durch die Verwendung von Simulationsmodellen können bereits in frühen Entwicklungsphasen Steuerungstests durchgeführt werden. Des Weiteren kann durch das Pausieren, Abbrechen und Fortsetzen der Simulation zu beliebigen Zeitpunkten eine detaillierte Sicht des Automatisierungsprozesses gewonnen werden. Durch Initialzustände kann eine Reproduzierbarkeit gewährleistet werden, welche eine Validierung von Fehlerbehebungen ermöglicht. Durch Signalmanipulationen können auch Komponentenausfälle simuliert werden. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist, dass Simulationen in verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt werden können. Dies begünstigt das Erproben von Grenzwerten, da diese entsprechend schnell erreicht werden können.

Der Anwenderbericht im folgenden Abschnitt zeigt die Vorteile des Einsatzes von Simulationskonzepten bei der Entwicklung von mechatronischen Systemen in Verbindung mit 3D-Simulation.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

3 Anwendungsszenarien für die virtuelle Inbetriebnahme

Wie Maschinensimulation in 3D und virtuelle Inbetriebnahme die Entwicklung von Steuerungssoftware revolutioniert

Michael Eberle

Risikominimierung und Qualitätssicherung sollten integrale Bestandteile von Anlagen-Entwicklungsprojekten sein. Das ist nichts Neues. In Automatisierungsprojekten sind diese Forderungen jedoch meist nicht ganz trivial umzusetzen. Hier kommen digitale Zwillinge und Maschinensimulation in 3D ins Spiel, denn sie liefern einen wichtigen Baustein dafür – und das in nahezu allen Projektphasen. Realistisches und ganzheitliches Testen von Konzepten, Steuerungssoftware und Abläufen, Robotercode und mehr wird endlich möglich. Klingt alles super, aber bringt das denn auch in der Praxis einen echten Mehrwert? Ein Anwendungsbericht.

3.1 Gute Steuerungssoftware als Basis

Für erfolgreiche Automatisierungsprojekte ist die Qualität der Steuerungssoftware von entscheidender Bedeutung. Qualitativ hochwertige Software verringert die Inbetriebnahmezeit vor Ort sowie Stillstandszeiten von Maschinen. Zusätzlich können Änderungen am bestehenden Code ohne großes Risiko durchgeführt werden: Never change a running system – ein durchaus bekannter Spruch. Durch Qualitätssteigerung in der Steuerungssoftware wird also das Risiko im Automatisierungsprojekt reduziert. Alles schon bekannt. Doch warum kämpfen wir immer noch mit Schwierigkeiten bei z.B. der Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen? Wie können wir die Qualität von Steuerungssoftware weiter steigern und zusätzlich das Risiko in Automatisierungsprojekten verringern? Die Antwort liegt im frühzeitigen, ganzheitlichen und umfangreichen Testen aller Automatisierungskomponenten. Frühzeitig bedeutet, dass alle Teile eines Projektes getestet werden müssen, wenn sie entstehen. Beispielsweise müssen Maschinenkonzepte schon zu Projektbeginn validiert werden und Steuerungssoftware muss getestet werden, während sie entsteht. Ganzheitlich bedeutet, dass alle Teile getestet werden müssen. Das bedeutet nicht nur die Steuerungssoftware, sondern auch HMIs, Roboterprogramme, SCADA-Systeme, u.v.m. „Umfangreiches Testen“ bedeutet, dass z.B. auch Situationen getestet werden müssen, die in der Realität nur schwer nachzustellen sind oder Maschinen- bzw. Personenschäden verursachen können.

3.2 Digitale Zwillinge im Engineering von Automatisierungslösungen

Umfangreiche Tests für die im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Situationen sind in der Realität bis dato nur schwer möglich. Hier bieten digitale Zwillinge von Maschinen in 3D die Lösung. Das digitale Pendant verhält sich dank physikbasierter Simulation in 3D (vgl. Abbildung 11) exakt wie die reale Maschine. Virtuelle Sensoren liefern realistische Signale und virtuelle Aktoren bewegen Komponenten im digitalen Zwilling. Alles wird in das reale 3D-CAD-Modell der Maschine integriert, eben genau so wie in der Realität auch. Der digitale Zwilling ersetzt die mechanischen, elektrischen und fluidischen Komponenten einer Maschine. Reale Steuerungen, welche an den digitalen Zwilling angeschlossen werden, merken keinen Unterschied zur realen Maschine (vgl. Abbildung 12 und Abbildung 13). Dadurch wird es erstmals möglich, Konzepte in frühen Stadien in einer virtuellen Welt so realistisch wie möglich zu testen und realistische Aussagen über z.B. Taktzeiten, benötigte Komponenten oder Platzbedarf zu

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

treffen. In einem weiteren Schritt können Fachkräfte Steuerungssoftware schreiben und diese, während sie programmieren, an der virtuellen Maschine testen. Virtuelle Inbetriebnahme wird zur Realität. Bewegungsabläufe werden im digitalen Zwilling sichtbar, Kollisionen haben keine Auswirkung und die Zusammenarbeit mehrerer Inbetriebnahmetechniker wird erleichtert. Der digitale Zwilling ist beliebig oft reproduzierbar, benötigt keinen Platz und kostet ein Bruchteil von realen Maschinen. Digitale Zwillinge und Maschinensimulation in 3D haben das Potential, die Entwicklung von Automatisierungslösungen zu revolutionieren.

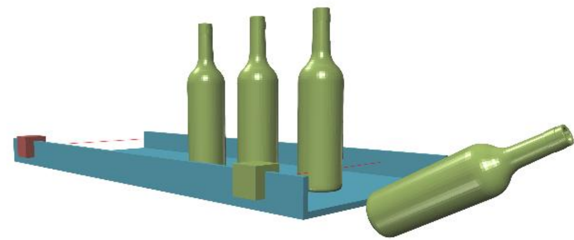


Abbildung 11: Physikbasierte Simulation in 3D
Quelle: © Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG

Physikbasierte Simulation in 3D ist ein entscheidender Baustein für die realistische Simulation von Maschinen. Nur so lässt sich der Materialtransport sowie das Verhalten von Aktoren wie z.B. Förderbänder und Sensoren wie z.B. Lichtschranken abbilden, ohne dass geschummelt werden muss (vgl. Abbildung 11).

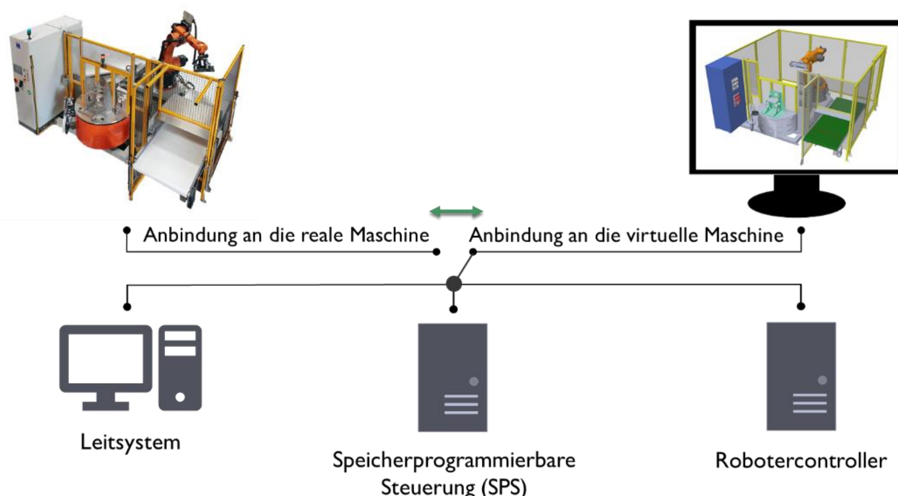


Abbildung 12: Virtuelles Pendant der realen Anlage
Quelle: © Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG

Der digitale Zwilling verhält sich aus Sicht der Steuerungskomponenten exakt wie das reale Pendant. Leitsystem, SPS, Robotercontroller und andere Komponenten werden mit der entwickelten Software betrieben und steuern entweder die reale Maschine oder den digitalen Zwilling (vgl. Abbildung 12).

Mit der Simulationssoftware twin können digitale Zwillinge schnell und intuitiv aus vorhandenen CAD-Daten erstellt werden. Die einfache Anbindung von Steuerungen, Robotercontroller, Leitsysteme, u.v.m. ermöglicht erstmals das ganzheitliche Testen aller Komponenten während einer virtuellen Inbetriebnahme (vgl. Abbildung 13).

3.3 Mit virtueller Inbetriebnahme werden Projekte effizienter: Praxisbeispiel

Virtuelle Inbetriebnahme ist nicht nur für große Serienmaschinen interessant. Ganz im Gegenteil: kleine Sondermaschinen beinhalten meist sehr komplexe Abläufe und genau hier bringt das frühzeitige Testen der Steuerungssoftware enorme Vorteile. Des Weiteren kann die Steuerungssoftware parallel zur Beschaffung entwickelt werden, wodurch z.B. Kapazitätsengpässe

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

besser ausgeglichen werden können. Der Aufwand für die Erstellung eines digitalen Zwillings ist mit ca. 5 bis 10 % der benötigten Softwarestunden überschaubar klein. Durch eine frühzeitige virtuelle Inbetriebnahme ist es weiters möglich, bis zu 30 % der teuren Inbetriebnahmezeit ins Büro zu verlagern. Durch die verringerten Reisekosten wird ganz nebenbei auch noch die Umwelt geschont.



Abbildung 13: Simulationssoftware twin
Quelle: © Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG

Diese Konzepte wurden in einem aktuellen Automatisierungsprojekt eines Sondermaschinenbauers praktisch umgesetzt: Durch Terminverschiebungen in anderen Projekten wäre es möglich gewesen, die Entwicklung von Steuerungssoftware vorzuziehen. Aufgrund der Komplexität der Anlage wäre die endgültige Entwicklung der Abläufe im Steuerungsprogramm jedoch erst bei der Inbetriebnahme möglich gewesen. Innerhalb kürzester Zeit konnte der Maschinenbauer gemeinsam mit Eberle Automatische Systeme einen digitalen Zwilling der geplanten Anlage erstellen. Dank diesem konnten die Steuerungstechniker des Maschinenbauers früher mit der Entwicklung der Abläufe beginnen (Abbildung 14). Achsen, die ineinander fahren konnten und gegenseitig verriegelt werden mussten, Materialhandling, Hoch- und Leerlauf der Anlage, Handbetriebe, Automatikbetrieb und Alarme. Alles konnte getestet und virtuell in Betrieb genommen werden. Die mechanischen Komponenten der realen Maschine waren zu dem Zeitpunkt noch nicht einmal gefertigt. Der Endkunde konnte währen der gesamten Entwicklung der Abläufe mit einbezogen werden und seine Wünsche und Vorschläge konnten direkt in die Entwicklung mit aufgenommen werden. Klingen da agile Methoden in der Steuerungstechnik durch?

Zum Autor:

Michael Eberle studierte Elektrotechnik an der TU Graz und leitet bei Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG die Abteilung für Modellierung und Simulation. Das Unternehmen entwickelt und vertreibt die Simulationssoftware twin unter der Marke digifai. Zusätzlich werden unter anderem auch Dienstleistungen im Bereich virtuelle Inbetriebnahme, digitale Zwillinge und Simulation angeboten.
Mehr Infos auf www.digifai.com

Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG
Schwefel 87a, 6850 Dornbirn

Am Ende wurde die Anlage gebaut und in Betrieb genommen. Die Signaltests, die Einstellung von Motoren und Sensoren und diverse Feintunings erfolgten wie in früheren Automatisierungsprojekten. Allerdings mussten währen der gesamten Inbetriebnahme keine einzige Änderung am Ablauf durchgeführt werden

Heute läuft die Maschine so, wie sie vermutlich auch ohne virtuelle Inbetriebnahme laufen würde. Aufgrund der Terminverschiebungen in anderen Projekten konnte allerdings die Steuerungssoftware jedoch früher erstellt werden. Das bedeutet, der Kunden konnte die Anlage

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

früher als geplant verwenden. Änderungswünsche, welche im Betrieb der Maschine auftreten, werden zuerst am digitalen Zwilling getestet. Erst danach werden sie auf die reale Maschine gespielt, wodurch Stillstandszeiten in der Produktion verringert werden.

Ob virtuelle Inbetriebnahme einen Mehrwert bring? Laut den beteiligten technischen Fachkräften und Entscheidern ganz klar ja. Ob mit virtueller Inbetriebnahme die Kosten verringert werden können? Das ist schwer zu fassen und ist wahrscheinlich von Projekt zu Projekt unterschiedlich. Fakt ist, dass komplizierte Maschinen besser abgesichert werden können, sprich das Projektrisiko kann reduziert werden. Ob virtuelle Inbetriebnahme die Zukunft im Engineering von Automatisierungslösungen ist? Ganz klar JA.

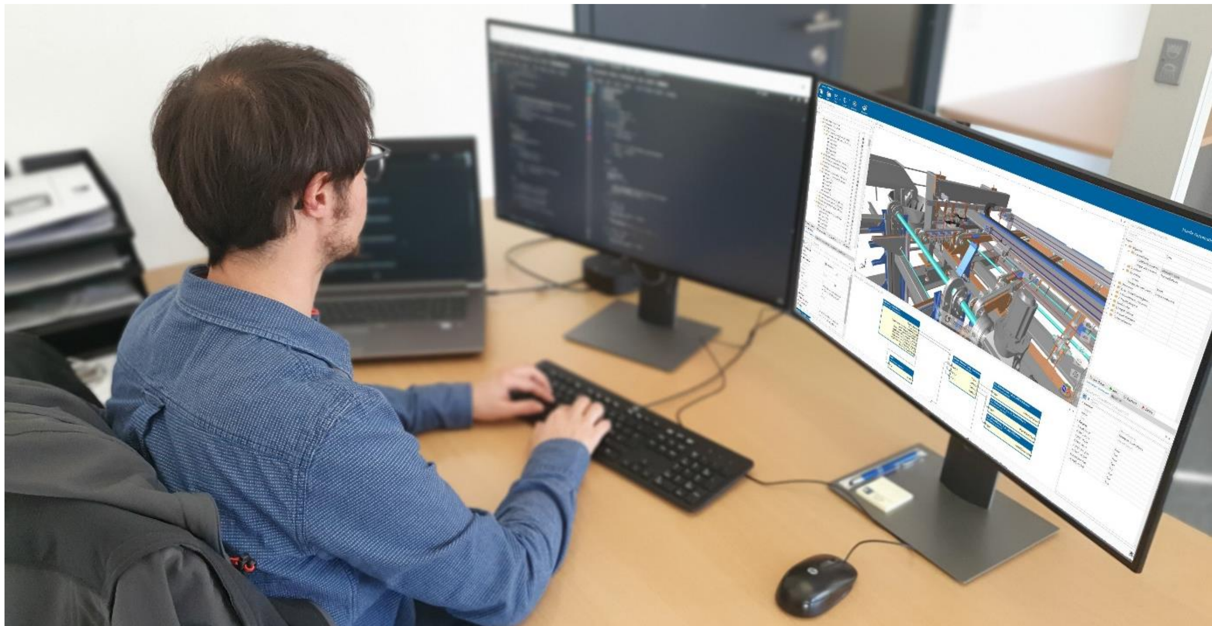


Abbildung 14: Virtueller Test von Steuerungsprogrammen und -abläufen am digitalen Zwilling in 3D
Quelle: © Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG

Abbildung 14 zeigt, wie Steuerungstechniker durch die Verwendung digitaler Zwillinge - hier mit der Simulationssoftware twin - ihre Programme und Abläufe testen können, während sie programmieren. Die reale Maschine wird für die Entwicklung der Software obsolet.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

4 Betrieb und Instandhaltung mittels Digital Twins

Rolle, Nutzen und Anwendung von digitalen Zwillingen im Anlagen-Lebenszyklus

Georg Güntner

Im folgenden Beitrag werden ausgehend vom digitalen Lebenszyklus industrieller Anlagen die Rolle von Digital Twins im Asset Management und der Nutzen in der Betriebs- und Instandhaltungsphase einer Anlage beschrieben.

4.1 Der digitale Lebenszyklus industrieller Anlagen

Gemäß der DIN EN 16646 („Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements", [EN16646]) gewährleistet **Asset Management** die optimale Nutzung von (industriellen) Anlagen, um die angegebenen Geschäftsziele nachhaltig zu erreichen. Die Aktivitäten des Asset Managements lassen sich in 5 Kernfunktionen beschreiben:

- Wertorientiertes Verwalten der Assets über den gesamten Lebenszyklus hinweg
- Organisation des Einsatzes und der Zustandserhaltung der Assets
- Reduzieren des Ersatzbedarfs durch maximales Nutzen und Erhalten der Assets
- Wertsteigerung durch Erweitern der Nutzungsmöglichkeiten und Verringern der Erhaltungskosten
- Erzeugen und Bereitstellen von Asset-bezogenen Informationen – z.B. über Verlauf und Prognose des Anlagenzustandes zur Entscheidungsunterstützung

Die Kernfunktionen des Asset Managements erstrecken sich über alle Lebenszyklus-Phasen (Life Cycle) von Anlagen: Beginnend mit Konzeption und Planung über Beschaffung und Errichtung, Betrieb, Instandhaltung und Optimierung bis hin zum Rückbau der Anlagen (vgl. Abbildung 15).

Die Einführung des betrieblichen Asset Management bedingt die Entwicklung einer Asset Management Strategie bzw. eines entsprechenden Management Systems: Die Elemente eines Anlagenmanagementsystems werden ausführlich in ISO 55000 und folgende beschrieben (s. Abschnitt 6.2 auf Seite 28).

Asset Management - Anlagenlebenszyklus						
Planung und Bau bzw. Umbau			Betreiben			
Planen Projektieren	Beschaffen Erstellen	Modifizieren	Inbetrieb-nahme	Betätigen (Bedienen)	Instand-haltung	Außerbe-triebnahme

Abbildung 15: Phasen des Anlagenlebenszyklus nach ISO 55000
Quelle: Darstellung von dankl+partner consulting gmbh

Die gegenwärtige digitale Innovation im Bereich der industriellen Fertigung führt zu einem **Paradigmenwechsel im Asset Management** (vgl. [Guen2015c], [Guen2018g]): Entscheidungen in der Anlagenwirtschaft können in der Zukunft viel stärker **daten- und faktenbasiert** getroffen werden. Eine Vielzahl von neueren technologischen Ansätzen ermöglicht das Messen, Sammeln, Verarbeiten und Analysieren von Zustands- und Betriebsdaten der Anlagen und der Produktionsprozesse. Zudem stehen die über die Anlagen erhobenen Daten allen „Stakeholdern", also nicht nur den **Betreibern**, sondern auch den Anlagenbauern (**Herstellern**) und den **Instandhaltungseinheiten** zur Verfügung. Dies ermöglicht und fördert das Entstehen neuer

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Service-Konzepte und Geschäftsmodelle für die zukünftige Kooperation zwischen diesen Stakeholdern.

Als zentrales technologisches Konzept für die Kommunikation der Stakeholder einer industriellen Anlage bietet sich der „**Digital Twin**“ an: Die im Digital Twin realisierte digitale Abbildung von Anlagen und ihren Komponenten schafft für viele rund um die Assets verwendeten Software Systeme eine Möglichkeit zur Datenintegration und damit auch zur Kommunikation und optimalen Bewirtschaftung der Anlagen durch die Stakeholder.

4.2 Die Rolle von Digital Twins im Asset Management

Digital Twins für industrielle Assets

In die industrielle Fertigung übertragen treten an die Stelle der in den Definitionen der digitalen Zwillinge genannten „materiellen Objekte“ Maschinen und Anlagen (**industrielle Assets**) sowie deren Komponenten, aber auch Werkzeuge, Ersatzteile und die erzeugten Halb- und Fertig-Produkte. Die computergestützten Modelle bilden die geometrischen, kinetischen und/oder Zustandsinformationen dieser Objekte ab. „Immaterielle Objekte“ sind im industriellen Kontext beispielsweise die Produktions- und Instandhaltungsprozesse.

Sensoren, Lebenszyklus und die Nutzung der Daten

Digitale Zwillinge bilden ein digitales Abbild von industriellen Anlagen in einem computergestützten Modell. Sie verwenden Sensoren, um die Betriebszustände und -prozesse von industriellen Assets über ihren **Lebenszyklus** hinweg digital zu erfassen. Die gesammelten Daten werden in einem Datenhaltungssystem gespeichert. Dabei kommen klassische Datenbanksysteme oder Cloud-Lösungen zum Einsatz. Digital Twins bilden daher eine aktuelle digitale Kopie der Zustände und Eigenschaften von industriellen Assets ab. Sie unterstützen damit potenziell die **Überwachung** (Monitoring), **Diagnose** und **Vorhersage** des Betriebes von Anlagen, indem sie die gesammelten Daten visualisieren, analysieren und zukünftige Zustände und Ereignisse prognostizieren können.



Visualisierung von Anlagendaten mit Digital Twins
© Salzburg Research, fotolia.com, zapp2photo

4.3 Der Nutzen von Digital Twins in Betrieb und Instandhaltung

Zukunftsorientierte Asset Management und Instandhaltungsstrategien

Allein aus der sensorischen Erfassung von Zustandsinformationen lässt sich die Frage nach dem Bezug von digitalen Zwillingen zum Asset Management eindeutig beantworten: Die Prozesse des Asset Managements profitieren deutlich vom Konzept des digitalen Zwillings, indem sie die Zustände und Betriebsparameter von Maschinen und Anlagen über längere Zeit erfassen und damit Lebenszyklus-orientierte betriebs- und instandhaltungsrelevante Entscheidungen und Handlungen bei der Bewirtschaftung von Anlagen ermöglichen.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Erfüllen nicht auch Condition Monitoring Ansätze einen ähnlichen Zweck? Im Grunde ja, aber wir haben bisher nur einen Aspekt der digitalen Zwillinge betrachtet. Aber schon dieser Aspekt zeigt uns, wie digitale Zwillinge für die Anlagenüberwachung, die Ermittlung von Kennzahlen, die frühe Erkennung, Vorhersage und gänzliche Vermeidung von Schadensfällen und Stillständen und somit für die Bewirtschaftung einer Anlage über deren gesamten Lebenszyklus hinweg verwenden können.

Nach Einschätzung von Expertinnen und Experten werden Produktion, Instandhaltung und Anlagenbau durch die Nutzung gemeinsamer und integrierter Datenbestände in Zukunft näher zusammenrücken. Zustandsorientierte und vorausschauende Instandhaltungsstrategien werden gegenüber reaktiven und präventiven Ansätzen an Bedeutung gewinnen. Der Einsatz kostengünstiger Sensoren, von IoT- und Cloud-Technologien schafft in Verbindung mit Softwaresystemen zur Visualisierung und Prognose **neue Geschäftsmodelle für das betriebliche Asset Management**. Neue Wertschöpfungsketten bergen disruptives Potenzial für die traditionellen Beziehungen zwischen Anlagenherstellern, -betreibern und Instandhaltern.

Kommunikation zwischen Hersteller, Betreiber und Instandhaltungsservices

Ein zukunftsträchtiges Nutzungsszenario für Digital Twins ergibt sich im Bereich der Kommunikation zwischen Hersteller, Betreiber und Instandhaltungsservices. Ein Anlagenhersteller verfügt aus dem Engineering-Prozess heraus eine Fülle von digitalen Informationen, die in entsprechender Form auch dem Betreiber und den Instandhaltungsservices zur Verfügung gestellt werden können. Dies können neben allgemeinen Klassifikationsmerkmalen zur Beschreibung der Anlage auch Konstruktionsdaten, Zeichnungen, Anleitungen, Stücklisten, aber letztlich auch die Zeitreihendaten von den verbauten Sensoren sein.

Was liegt also näher, als die Kommunikation zwischen Anlagenhersteller und –betreiber (und ggfs. auch beteiligten Dienstleistern) über das Konzept der Digital Twins zu ermöglichen (vgl. Abbildung 16)? Wichtig sind dabei in jedem Falle ein gutes informationstechnisches Sicherheitskonzept und ein rechtliches Rahmenwerk, das die Möglichkeit zum Zugriff, zur Nutzung und zur Veränderung der Informationen regelt.

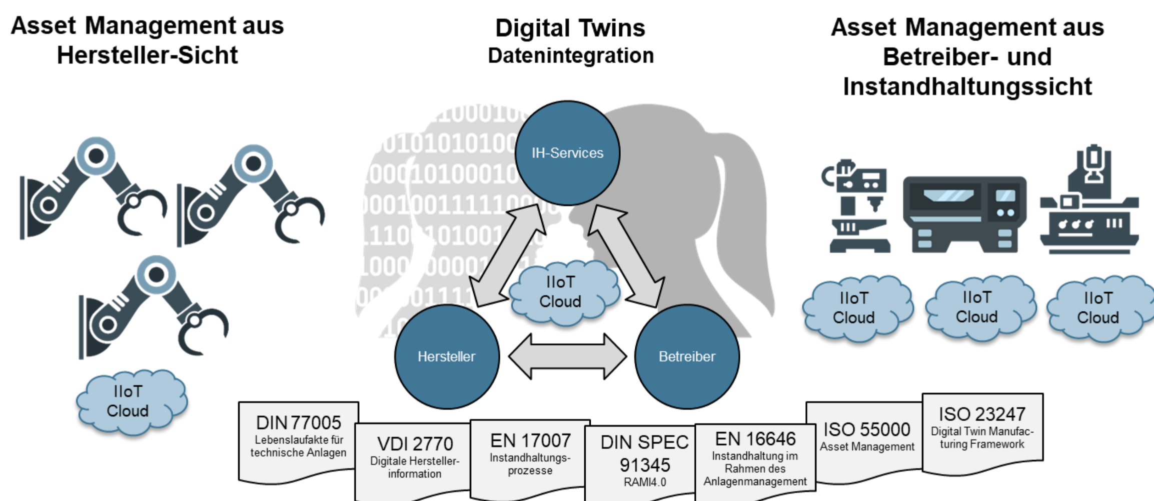


Abbildung 16: Kommunikation zwischen Hersteller, Betreiber und Instandhaltungsservices mit Digital Twins
© Salzburg Research, 2019

Dabei nützen Hersteller idealerweise einen herstellerübergreifenden Standard zur Beschreibung von Anlagen-Informationen. Solche Standards sind in der nahen Vergangenheit beispielsweise im Bereich der Strukturierung von **digitalen Herstellerinformationen** (VDI 2770:

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

s. Abschnitt 6.2 auf Seite 28) oder in der Beschreibung eines Modells für eine „**Verwaltungsschale**" von industriellen Assets in RAMI4.0 erfolgt (DIN SPEC 91345: s. Abschnitt 6.1 auf Seite 27). Die Verwaltungsschale (Asset Administration Shell) bildet die konzeptionelle Grundlage für die Beschreibung von Digital Twins für industrielle Assets und schafft damit Regeln zur datentechnischen Beschreibung entlang des Lebenslaufs und des damit verbundenen Werteverlaufs einer industriellen Anlage bzw. ihrer Komponenten.

Die Betreiber und Instandhaltungsservices erhalten von den Herstellern ein „digitales Informationspaket", welches sie in ihre Asset Management Systeme, ERP-Systeme oder Instandhaltungsmanagementsysteme übernehmen können. Es gibt nun zwei wichtige Aspekte, die bei dieser Herangehensweise zu beachten sind: Erstens sind Redundanzen und inkonsistente Informationsstände zu vermeiden, die dadurch entstehen, das Zustandsänderungen in den Informationssystemen des Betreibers nicht an die Hersteller oder Dienstleister gemeldet werden. Und zweitens legen viele Hersteller ihre Anlageninformationen (inkl. der Sensor-Daten) in eine Cloud-Anwendung: Dies führt dazu, dass auf der Seite des Betreibers – je nach Anzahl seiner Lieferanten – eine Vielzahl von herstellerspezifischen Clouds zu verwalten ist und eine integrative Sicht auf die Anlagen nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich ist.

Idealerweise werden demnach die Anlagen-Informationen über eine Plattform zur Verfügung gestellt, die verschiedenen Herstellern und Betreibern gleichermaßen Zugriff auf die Anlageninformationen gewährt, wobei der Zugriff und die Nutzung der Informationen rollenspezifisch geregelt wird.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

5 Anwendungsszenarien in Betrieb und Instandhaltung

Remote Service Konzepte und cloudbasierte Plattformen zur Überwachung und Instandhaltung von Anlagen

Georg Güntner, Georg Schäfer, Christoph Schranz

Aus der Vielzahl der möglichen Anwendungen von digitalen Zwillingen in der Betriebs- und Instandhaltungsphase sind im Folgenden einige Fallbeispiele angeführt, anhand derer das Potenzial für die Verwendung von digitalen Zwillingen aus konzeptioneller und aus praktischer Sicht erkennbar wird.

5.1 Remote Service Konzepte mit dem Digital Twin

Eine von Anlagenbauern und –betreibern immer häufiger genutztes Anwendungsszenario für Digital Twins besteht in der **Überwachung, Diagnostik und Prognostik** von Anlagen. Dabei senden Produktionsanlagen über das Internet der Dinge Betriebsdaten an den Anlagenhersteller (bzw. an einen von diesem bereitgestellten Datenpool oder ein Cloud-Plattform). Durch vertragliche Rahmenbedingungen ist sicherzustellen, dass die Daten nur zu vorgesehenen Zwecken verwendet werden, dass die Daten vor ungerechtfertigtem Zugriff geschützt sind und dass die Daten nicht oder nur für vorgesehene Zwecke (z.B. die Analyse) an Dritte weitergegeben werden. Der Hersteller muss also den **Schutz der Daten** (IT-Sicherheit) und der **Privatsphäre** gewährleisten und vertraglich garantieren.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass der Hersteller auf der Basis der übermittelten Daten viel verlässlichere Diagnosen und Prognosen als der Betreiber der Anlage stellen kann, weil die Berechnungsmodelle (Real-Time Diagnose bzw. Real-Time Analytik) des Herstellers auf einer wesentlich breiteren Datenbasis beruhen. Auch in diesem Szenario können Anforderungen wie die frühzeitige Erkennung von ungünstigen Betriebszuständen und die vorausschauende Instandhaltung (Predictive Maintenance) unterstützt werden. Ein Nachteil dieses Szenarios ist, dass die Betriebsdaten der Anlagen unterschiedlicher Hersteller in unterschiedlichen Cloud-Plattformen gespeichert werden und der Betreiber selbst keinen einheitlichen Überblick über die Gesamtheit seiner Daten hat und diese auch nur schwer in Beziehung zueinander setzen kann.

Die Anlagenhersteller knüpfen an die Sammlung und Auswertung von Betriebsdaten Geschäftsmodelle wie **Remote Service Konzepte** und andere **After Sales Services** (z.B. Ersatzteil-Lieferungen, Obsoleszenz-Management). Aber auch die Weiterentwicklung und Optimierung von neuen Anlagengenerationen kann durch die Analyse der vorliegenden Daten unterstützt werden, wovon letztlich sowohl der Anlagenhersteller als auch der Betreiber profitieren.

Im Anlagen- und Maschinenbau gibt es bereits eine Vielzahl von digitalen Service-Konzepten, die auf der sensorischen Erfassung von Anlagendaten und deren Analyse beruhen. Exemplarisch seinen zwei Anwendungen bei KÜNZ GmbH und bei UNTHA shredding technology GmbH dargestellt.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Beim Vorarlberger Kranbauer **KÜNZ GmbH** (www.kuenz.com) dient das auf der IoT-Plattform der Firma Senseforce[4] beruhende KIS („KÜNZ Information System“) zur Erfassung von Betriebsdaten: Messwerte der in Häfen und Bahnanlagen auf der ganzen Welt eingesetzten Container-Kräne werden in einer Datenplattform gesammelt und ausgewertet. Sie erlauben die frühzeitige Erkennung von Materialermüdungen, kritischen Betriebszuständen und erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen[5]. Darauf basierend entwickelt das Unternehmen neue Geschäftsmodelle und datenbasierte Services, z.B. für die intelligente Ersatzteilbewirtschaftung, die Einsatzplanung von mobile Service Teams oder die Zusammenlegung von geplanten Routine-Wartungsaufgaben mit vorausschauenden Instandhaltungsmaßnahmen.

Die Tennengauer **UNTHA shredding technology GmbH** (www.untha.com) bietet für die größeren Modelle der Zerkleinerungsanlagen unter der Bezeichnung „GENIUS“ ein digitales Assistenzsystem[6] an, das die sensorische Erfassung von Betriebsdaten und ihre Darstellung in einem Informations-Dashboard ermöglicht. Damit lassen sich die Produktivität der Anlagen und die Anlagenverfügbarkeit steigern und die Betriebskosten reduzieren. Ebenso sind drohende Störungen und Anomalien durch remote Überwachung und Diagnose erkennbar. Die Kunden erhalten über eine eigene Plattform (myUNTHA) einen Zugang zu den wesentlichen KPIs ihrer Anlagen und können aufgrund der Betriebsparameter die Effizienz der Anlage überwachen.

5.2 Pumpen und ihre digitalen Zwillinge

Das deutsche Traditions-Unternehmen **KSB** erzielt den Großteil seines Umsatzes mit der Entwicklung, der Produktion, dem Vertrieb und dem Service von Pumpen. Die Digitalisierung eröffnete dem „gestandenen“ Maschinenbauer die Chance, die Potenziale der vierten industriellen Revolution für die Weiterentwicklung eigener Technologie und für die Erschließung neuer digitaler Geschäftsmodelle zu nutzen.

Zum Hintergrund: Durch die Abhängigkeit oft großer industrieller Anlagen von der Funktionalität einer oder mehrerer Pumpen, ist deren **Betriebssicherheit** sowohl für die die Anlagenbetreiber als auch die Hersteller der Pumpen von großem wirtschaftlichem Interesse. Das Ziel von KSB im Rahmen der Digitalisierung bestand darin, durch den Einsatz von digitalen Zwillingen eine effiziente Möglichkeit zur Fernüberwachung zu schaffen, einen störungsarmen Betrieb ihrer Pumpen zu garantieren und den Instandhaltungsbedarf zu minimieren.

KSB entwickelte für die Palette der digitalen Produkterweiterungen eine umfassende Lösung für das cloudbasierte Condition Monitoring, die Analyse und die Fernwartung der Pumpen: Mit einem optionalen Modul (KSB PumpMeter[7]) werden charakteristische Betriebsparameter der Pumpen erfasst und an die KSB-Cloud übertragen. In der Cloud entstehen durch die Verknüpfung von Anlagen-Stammdaten mit den erfassten Betriebsdaten digitale Zwillinge der im Betrieb eingesetzten Pumpen.

Die in den digitalen Zwillingen gesammelten Daten unterstützen nun einerseits KSB bei der Fernüberwachung der Pumpen bzw. ihrer Bauteile, der frühzeitigen Erkennung von Anomalien und Einleitung von Service-Maßnahmen, bei der Optimierung der Energieeffizienz der Pum-

[4] Senseforce GmbH: https://senseforce.io/
[5] instandhaltung.de: „Wartung und Schmierstoffanalyse: Damit der Kran länger hebt“ – online: www.instandhaltung.de/praxisanwendung/wartung-und-schmierstoffanalyse-damit-der-kran-laenger-hebt-114.html
[6] UNTHA GENIUS: www.untha.com/de/produkte/GENIUS
[7] KSB PumpMeter: www.ksb.com/ksb-de/Produkte_Leistungen/Industrietechnik/PumpMeter/

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

pen, aber auch bei der Entwicklung und Einführung von nutzungsbezogenen Geschäftsmodellen („**Pump-as-a-Service**"). Andererseits erhalten auch die Betreiber die Möglichkeiten zur effizienten Überwachung ihrer Pumpen oder zur frühzeitigen Erkennung von Störungen, indem sie beispielsweise auf einem mobilen Endgerät die Kennwerte der Pumpen in Echtzeit anzeigen oder Alarme über vorliegende Störungen melden.

5.3 Robotik in der Cloud

Mit KUKA Connect[8] stellt das für seine orangefarbenen Robotersysteme bekannte Automatisierungsunternehmen **KUKA** eine cloudbasierte Plattform für die Verwaltung von Robotersystemen und für die Sammlung und Analyse von Betriebsdaten zur Verfügung. Mit Hilfe der Software-Plattform lassen sich Daten von KUKA Robotern sammeln, verschlüsseln und über eine sichere Verbindung in die Cloud übertragen. Damit entsteht in der Cloud ein digitales Abbild der Anlagen und ihrer Betriebsdaten: der Digital Twin eines Robotersystems. Dieser Digital Twin unterstützt die Aufgaben des Asset Managements (Anlagenverwaltung) und eine Optimierung des Betriebs und der Instandhaltung der Anlagen.

Über die Netzwerk-Kommunikationsschnittstelle werden Roboterdaten am Gateway empfangen und im nächsten Schritt verschlüsselt an die KUKA-Cloud übertragen. Über die KUKA Connect Weboberfläche kann mit einem beliebigen internetfähigen Gerät auf die in der Cloud verfügbaren Informationen zugegriffen werden: Es stehen dabei verschiedene Features und Funktionen zu Verfügung, die die Überwachung und Instandhaltung erleichtern. Durch das „Wartungsfeature" kann beispielsweise automatisiert eine Zeitplanung vorgenommen werden, um einen optimalen Zustand der verbundenen Roboter zu gewährleisten.

In der Betriebsphase der Roboter wird an verschiedene anfallende Wartungsaufgaben (wie Basisinspektionen, Datensicherungen, Getriebespielmessungen, Elektrowartungen und Riemenwechsel) erinnert. Über das KUKA Connect Interface können die geplanten Wartungen jedes einzelnen Roboters anhand einer Zeitleistenansicht überwacht werden. Des Weiteren können Wartungsereignisse in einem Wartungsprotokoll dargestellt werden. Nach Abschluss einer geplanten Wartungsaufgabe können die abgeschlossenen Aufgaben entsprechend dokumentiert werden.

KUKA Connect ermöglicht die Fernüberwachung der Betriebszustände und Fehlerprotokolle eines Roboters. Durch die Analyse von historischen Daten wird der Normalzustand des Roboters erlernt. Eine ebenfalls verfügbare Anomalie-Erkennung identifiziert Abweichungen vom normalen Betriebsablauf und stellt diese entsprechend dar. Gegebenenfalls werden Maßnahmen und erforderliche Korrektur-Aktionen vorgeschlagen.

Administratoren können mittels KUKA Connect eine Alarmverwaltung erstellen. Damit werden Anwender über bestimmte, für sie relevante Alarme informiert. Zu den verfügbaren Alarmen zählen beispielsweise gestoppte Roboterbewegungen, Statusänderungen, diverse Informationen und Dialoge. Die Alarmierung erfolgt per SMS oder E-Mail.

---

[8] KUKA Connect: https://connect.kuka.com/

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

6 Im Dickicht der Standards

Ausgewählte neue Standardisierungsinitiativen in der Virtualisierung von Anlagen und im digitalen Anlagen-Lebenszyklus

Georg Güntner, Dietmar Glachs, Simon Kranzer

Die Digitalisierung der industriellen Fertigungs- und Instandhaltungsprozesse mit Hilfe von Digital Twins setzt einen hohen Grad an Vernetzung der Anlagen, ihrer Komponenten sowie den sie steuernden Systemen voraus. Industrie 4.0 beruht auf der Integration unterschiedlicher IT-Systeme unter der Maßgabe der betrachteten Geschäftsprozesse und der Phasen des Anlagen- bzw. Produkt-Lebenszyklus. Wenn diese Integration nachhaltig gelingen soll, sind Architekten und Entwickler der Industrie 4.0-Lösungen gut beraten, standardisierte Schnittstellen, Informationsstrukturen und Protokolle zu verwenden. Der folgende Beitrag beinhaltet eine Auswahl von (neueren) Standards, die für die Konzeption und Entwicklung von digital Twins im Anlagen-Lebenszyklus relevant sind.

Im Zusammenhang mit der Planung und Umsetzung von Digitalisierungsvorhaben im Anlagen-Lebenszyklus ist zu berücksichtigen, dass Digitalisierung nie eine Frage der Technologie allein ist, sondern dass der Erfolg nur über das Zusammenspiel von technologischen, organisatorischen und kompetenzbildenden Maßnahmen führt.

Darüber hinaus haben digitale Infrastrukturen und die ihnen zugrundeliegenden Standards je nach der betrachteten Phase im Asset-Life-Cycle eine unterschiedliche Bedeutung: So sind im Engineering andere Standards relevant wie in der Betriebs- und Instandhaltungsphase. Wieder andere Prioritäten gelten bei einer Lebenszyklus-übergreifenden Betrachtung von Anlagen im Asset Management.

Eine Reihe von weiteren relevanten Standards ist in der folgenden Auflistung angeführt – auch diese erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit (die hervorgehobenen Standards werden in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellt):

- **DIN 77005-1: Lebenslaufakte für technische Anlagen (Teil 1)**
- DIN EN 16646: Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements
- DIN EN 62264: Integration von Unternehmens-EDV und Leitsystemen
- **DIN SPEC 91345: RAMI 4.0 und die Verwaltungsschale**
- eCl@ss: Stammdaten-Standard für Produkte und Dienstleistungen
- EN 17007: Instandhaltungsprozess
- IEC 61360: Common Data Dictionary
- ISO 23247: Digital Twin Manufacturing Framework
- **ISO 55000 ff: Asset Management**
- VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme
- **VDI 2770: Digitale Herstellerinformation**
- **VDMA 40001-1: OPC UA for Machinery**

Die nachfolgend getroffene Auswahl umfasst einige (aber längst nicht alle) für die Konzeption von Digital Twins relevante Standards. Eines der Auswahlkriterien ist die Aktualität und die Neuigkeit der Normen. Ein anderes die Abdeckung von technologischen und organisatorischen Aspekten der Einführung und Nutzung von Digital Twins.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

6.1 DIN SPEC 91345: RAMI4.0 und die Verwaltungsschale

Steckbrief		
	Code	DIN SPEC 91345
	Bezeichnung	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) Details of the Asset Administration Shell
	Datum / Status	2016-04 bzw. 2018-11
	Information	https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-91345/250940128 https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2018-verwaltungsschale-im-detail.html

Das von der Plattform Industrie 4.0[9] entwickelte Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0, kurz RAMI 4.0, stellt eine grundlegende Architektur für Industrie 4.0 unter Verwendung eines dreidimensionalen Schichtenmodells vor.

RAMI 4.0 schafft mit dem Konzept der Verwaltungsschale (Synonyme: Industrie 4.0 Komponente, Asset Administration Shell, kurz AAS) die Voraussetzung der Abbildung von technischen Gegenständen (Assets) in der IT-Welt. Sie legt also damit den konzeptionellen Grundstein für die Beschreibung von Digital Twins für industrielle Assets und schafft damit Regeln zur datentechnischen Beschreibung entlang des Lebenslaufs und des damit verbundenen Werteverlaufs einer industriellen Anlage bzw. ihrer Komponenten.

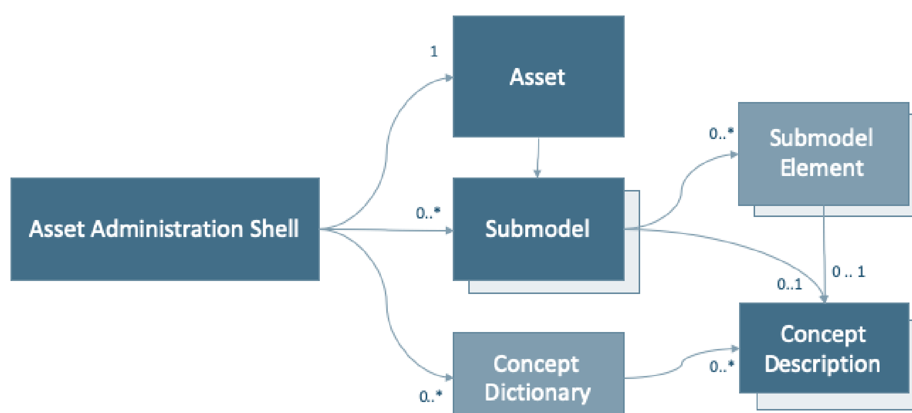


Abbildung 17: Asset Administration Shell – Informationsbausteine
© Salzburg Research, 2020

Für die Plattform Industrie 4.0 hat die Verwaltungsschale folgende Funktionen: Sie

- bindet Assets in die Industrie 4.0 Kommunikation ein.
- ist im Netz adressierbar und identifiziert das Asset eindeutig.
- erlaubt den kontrollierbaren Zugriff auf alle Informationen des Gegenstands.
- hat eine standardisierte und sichere Kommunikationsschnittstelle und schafft dadurch eine herstellerübergreifende Interoperabilität.
- kann intelligente und nicht intelligente („passive") Assets (ohne Kommunikationsschnittstelle) einbinden, z.B. über Bar oder QR Codes.
- bildet den gesamten Lebenszyklus von Produkten, Geräten, Maschinen und Anlagen ab.

[9] Plattform Industrie 4.0: www.plattform-i40.de

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Details der Verwaltungsschale wurden im November 2018 von der Plattform Industrie 4.0 in Kooperation mit dem ZVEI unter dem Titel „Details of the Asset Administration Shell. Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 1.0)“ veröffentlicht ([pi40zvei2020]).

Die Verwaltungsschale ist als Format für den Datenaustausch in durchgängigen Wertschöpfungsketten der Industrie 4.0 konzipiert. Eine Kommunikation zwischen einer aufrufenden Applikation und einer Industrie 4.0 Komponente folgt somit vordefinierten Mustern und die jeweilige Antwort muss immer im vordefinierten Format der Verwaltungsschale erfolgen. Devices und Anwendungen können so die Informationen und Befehle erkennen und interpretieren.

Quelle: Plattform Industrie 4.0, DIN SPEC 91345, Wikipedia

6.2 ISO 55000: Asset Management

Steckbrief		
	Code	ISO 55000, ISO 55001, ISO 55002
	Bezeichnung	Asset Management (Übersicht und Prinzipien; Anforderungen; Richtlinien zur Umsetzung)
	Datum / Status	2014
	Information	de.wikipedia.org/wiki/Anlagenwirtschaft www.iso55000.de

Asset Management gewährleistet die optimale Nutzung von Anlagen, um die Geschäftsziele einer Organisation nachhaltig zu erreichen. Die Normenserie ISO 55000 beschreibt die Aufgaben und Inhalte des Asset Managements, dessen Aktivitäten aus fünf Kernfunktionen bestehen:

- dem wertorientierten Verwalten der Assets über den gesamten Lebenszyklus hinweg,
- der Organisation des Einsatzes und der Zustandserhaltung der Assets,
- der Reduktion des Ersatzbedarfs durch maximales Nutzen und Erhalten der Assets,
- der Wertsteigerung durch Erweitern der Nutzungsmöglichkeiten und Verringern der Erhaltungskosten,
- der Erzeugung und Bereitstellung von Asset-bezogenen Informationen, z.B. über den Verlauf und die Prognose des Anlagenzustandes zur Entscheidungsunterstützung.

Die Kernfunktionen des Asset Managements erstrecken sich über alle Lebenszyklus-Phasen (Life Cycle) von Anlagen: Beginnend mit Konzeption und Planung über Beschaffung und Errichtung, Betrieb, Instandhaltung und Optimierung bis hin zum Rückbau der Anlagen.

Die Einführung des betrieblichen Asset Management bedingt die Entwicklung einer Asset Management Strategie bzw. eines entsprechenden Management Systems: Die Elemente eines Anlagenmanagementsystems werden ausführlich in den Normen ISO 55000, ISO 55001 und ISO 55002 beschrieben:

- ISO 55000 bietet eine Übersicht über die Grundlagen, Leitlinien und Begriffe des Asset Managements.
- ISO 55001 definiert die Anforderungen an ein Asset Management System. Unternehmen können ihr Asset Management System nach ISO 55001 zertifizieren lassen.
- ISO 55002 schließlich bietet Richtlinien zur Umsetzung der in ISO 55001 definierten Anforderungen an das Asset Management System.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

6.3 DIN 77005: Lebenslaufakte für technische Anlagen

Steckbrief		
	Code	DIN 77005-1
	Bezeichnung	Lebenslaufakte für technische Anlagen - Teil1: Strukturelle und inhaltliche Festlegungen
	Datum / Status	2018-09
	Information	www.beuth.de/de/norm/din-77005-1/290281150

Die fortschreitende Digitalisierung im Bereich technischer Anlagen veranlasste den Standardization Council Industrie 4.0 (https://sci40.com), die DIN und den VDE|DKE, eine einheitliche Lebenslaufakte für industrielle Anlagen, deren Bauteile und Komponenten zu schaffen. Die daraus entstandene DIN 77005-1 findet Anwendung bei Lebenslaufakten für technische Anlagen in der Verfahrenstechnik, in der Energietechnik und in der Produktionstechnik. Die Nutznießer der Norm sind unter anderem Entwickler, Planer, Anlagenbetreiber, Instandhaltungsdienstleister und Gutachter, die auf qualitativ hochwertige und aktuelle Informationen über die Anlagen im Zuge ihre Asset Management Aufgaben angewiesen sind.

Die DIN 77005-1 erlaubt die übersichtliche Ablage von Dokumenten und relevanten Daten in einer digitalen Lebenslaufakte. Dies schafft in einem Bereich, der von Hersteller-dominierten proprietären Strukturen dominiert wird, Transparenz, Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit bei der Beschreibung von anlagenbezogenen Informationen über den Lebenszyklus hinweg. Um den unterschiedlichen Anforderungen der beteiligten Akteure gerecht zu werden, werden die Inhalte in einer nach DIN 77005-1 aufgebauten Lebenslaufakte rollenspezifisch geordnet: Die Norm erlaubt eine Unterscheidung zwischen technischer, rechtlicher, ökonomischer und prozesstechnischer Sicht auf die Informationen und Dokumente.

Quelle: DIN 77005-1, Redaktion QZ (Hanser Verlag, www.hanser.de)

6.4 VDI 2770: Digitale Herstellerinformation

Steckbrief		
	Code	VDI 2770 Blatt 1
	Bezeichnung	Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen - Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie - Grundlagen
	Datum / Status	2018-10 / Entwurf
	Information	www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2770-blatt-1-betrieb-verfahrenstechnischer-anlagen-mindestanforderungen-an-digitale-herstellerinformationen-fuer-die-prozessindustrie-grundlagen

Für die Übergabe von Dokumenten zwischen Anlagenherstellern, -betreibern und Instandhaltungsdienstleistern kommen heute zumeist historisch gewachsene, proprietäre Kommunikationsstrukturen zur Anwendung. Die Richtlinie VDI 2770 Blatt 1 schafft einen Standard für die Struktur und den Austausch von Herstellerinformationen. Nach VDI 2770 strukturierte Unterlagen enthalten Informationen, die für die richtige Auslegung, Aufstellung, Inbetriebnahme, Ersatzteilbevorratung, Bedienung, Reinigung, Inspektion, Wartung und Instandsetzung erforderlich sind. Darüber hinaus schreiben gesetzliche Bestimmungen das Vorhandensein bestimmter Herstellerunterlagen vor, wie z.B. CE-Konformitätserklärungen, ATEX-Zertifikate oder Werkstoffzeugnisse. Die Übertragung dieser Informationen in die IT-Systeme der Anlagenbetreiber wird durch die Richtlinie vereinheitlicht, um den Aufwand für Hersteller und Betreiber zu minimieren und dadurch Zeit und Kosten zu sparen.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Die Standardisierung der Struktur von digitalen Herstellerinformationen ist eine Grundvoraussetzung für die vollautomatisierbare digitale Übertragung der Informationen aus den IT-Systemen des Herstellers in die IT-Systeme des Betreibers. Durch die Standardisierung kann zukünftig jede Einzelinformation eindeutig identifiziert und in allen IT-Systemen abgerufen werden. Dis reduziert das ressourcenintensive Suchen in der Herstellerdokumentation weitestgehend. Bei gleichem Ressourceneinsatz wird so eine deutliche Intensivierung der Nutzung von technischen Informationen zur Verbesserung der Prozessabläufe in Produktionsanlagen ermöglicht.

Durch die Standardisierung der Herstellerinformation nach VDI 2770 werden verbindliche Regeln für den Austausch digitaler anlagenbezogener Informationen geschaffen. Dies unterstützt die Konzeption und Einführung von digitalen Zwillingen (dem digitalen Abbild einer realen Anlage) insofern, als nun eindeutig festgelegt ist, zu welchem Zeitpunkt im Prozess welches Dokument mit welchem Inhalt vorhanden sein muss. Die Richtlinie VDI 2770 klassifiziert die Dokumententypen in vier Gruppen (Identifikation, technische Beschaffenheit, tätigkeitsbezogene Dokumente und Vertragsunterlagen) mit insgesamt 12 Kategorien (beispielsweise das elektronischen Typenschild, 3D-Modelle, Stücklisten, Montage-, Gebrauchs- und Wartungsanleitungen, sowie Lieferscheine und Rechnungen).

Quelle: VDI 2270 Blatt 1, VDI (www.vdi.de)

6.5 VDMA 40001-1: OPC UA for Machinery

Steckbrief		
	Code	VDMA 40001-1 (Draft), OPC 40001-1 (Release Candidate)
	Bezeichnung	OPC UA for Machinery
	Datum / Status	2020-06 / Entwurf
	Information	https://opcua.vdma.org/

Die OPC Foundation hat mit den Companion Specifications die Möglichkeit geschaffen spezielle Informationsmodelle für OPC UA zu definieren. Bis dato sind, neben anderen, etwa die Specifications für Robotik, für Werkzeugmaschinen und für CNC-Systeme erschienen. Weitere Informationsmodelle befinden sich in einem Draft-Status. Die Companion Specification OPC UA for Machinery liegt aktuell in einer Draft-Version der VDMA vor. Sie nimmt eine Sonderrolle innerhalb der Informationsmodelle ein.

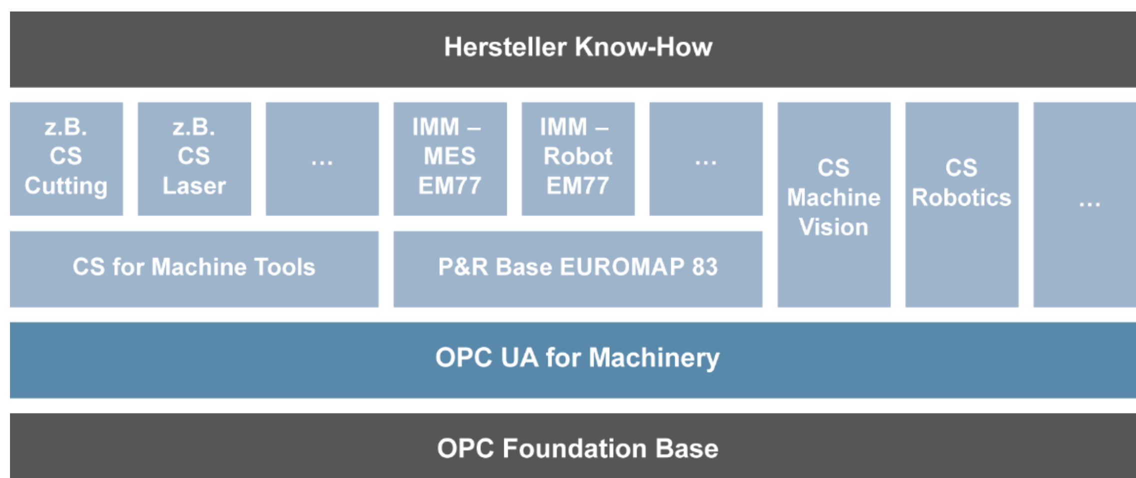


Abbildung 18: OPC UA for Machinery
Quelle: VDMA 4001-1 (eigene Darstellung)

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Da alle Companion Specifications grundlegende Informationen und Funktionen benötigen werden diese durch die OPC UA for Machinery zusammengefasst. Diese bildet damit die Grundlage, um alle aus den anderen Specifications resultierenden Basisinformationsmodelle zusammenführen. In Building Blocks für Maschinen werden Maschinenkomponenten definiert, um letztendlich ganze Maschinen abbilden zu können. Aktuell liegt Teil 1 als Entwurf der VDMA (VDMA 40001-1:2020-06) bzw. der OPC-Foundation (OPC 40001-1) vor, der die Anwendungsfälle „Identifikation und Namensschild von Maschinen“ und „Finden aller Maschinen im Server“ behandelt. Weitere Anwendungsfälle folgen in den kommenden Jahren.

Das Ziel der VDMA und der OPC-Foundation ist dabei kein einzelnes Informationsmodell, das alle Maschinen abbilden kann, sondern verallgemeinernde Konzepte, die es erlauben einzelne Maschinen aus Bausteinen zusammenzusetzen und mit darüber liegenden Companion Specifications genauer zu beschreiben. Zusammenfassen sind die Ziele der OPC UA for Machinery die Harmonisierung der Informationsmodelle im Maschinen- und Anlagenbau und die Definition von Informations-Bausteinen zur Modellierung von Maschinen und Anlagen.

Quelle: VDMA, OPC-Foundation

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Anhang A: Referenzen

Literaturverzeichnis

[Berg2016] David Bergström und Robert Göransson: „Model- and Hardware-in-the-Loop Testing in a Model-Based Design Workflow," Masterthesis an der Fachhochschule Salzburg, 2016.

[BMWi2016] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Plattform Industrie 4.0 (Herausgeber): „Ergebnispapier: Struktur der Verwaltungsschale - Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente“ (2018). Online: bit.ly/2LTOvWW

[Brökel2015] Jan Brökelmann: „Systematik der virtuellen Inbetriebnahme von automatisierten Produktionssystemen“. In: Digitale Sammlungen der Universität Paderborn (Heinz-Nixdorf-Institut). ISSN 2195-5239. Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG (Münster). 2015. Online: https://core.ac.uk/reader/50519522

[DIN91345-2016] DIN SPEC 91345:2016-04 "Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)". 2016-04. Online: https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-91345/250940128

[EN16646] DIN EN 16646 (2014): Instandhaltung – Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements

[Gartner2017] Gartner Inc. (Christy Pettey): „Prepare for the Impact of Digital Twins“ (2017). Online: www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/

[Guen2015c] Georg Güntner, Michael Benisch, Andreas Dankl, Jutta Isopp (Hrsg.): “Roadmap der Instandhaltung 4.0 ” - bit.ly/1IFGJfu, Mai 2015.

[Guen2018g] Georg Güntner, Lydia Höller (Hrsg.): „Die digitale Transformation der Instandhaltung“, White Paper. Projektkonsortium i-Maintenance. November 2018. Online: www.maintenance-competence-center.at/i-maintenance/digitale-transformation/

[Han2018a] Hannover-Messe: „Die IoT-Industrie geschieht doppelt“ (2018). Online: www.hannovermesse.de/de/news/die-iot-industrie-geschieht-doppelt-64456.xhtml

[Han2018b] Hannover-Messe: „Auf ewig verbunden“ (2018). Online: www.hannover-messe.de/de/news/top-themen/digital-twin/

[iot-analyt2020] IoT Analytics GmbH: „How the world’s 250 Digital Twins compare? Same, same but different.“ (2020) – online: https://iot-analytics.com/how-the-worlds-250-digital-twins-compare/

[ISG2020] Stefan Scheifele: „ISG empfiehlt Strategien zur virtuellen Inbetriebnahme“ (2020). Online: https://wirautomatisierer.industrie.de/smart-factory/isg-empfiehlt-strategien-zur-virtuellen-inbetriebnahme/

[ISO55000] ISO 55000 (2014): Asset Management - Übersicht und Prinzipien des Asset Managements; ISO 55001 (2014) Anforderungen an die Anlagenwirtschaft als „Managementsystem“; ISO 55002 (2014) Leitlinie zur Einführung eines Anlagenwirtschaftssystems

[Kritz2018] Werner Kritzinger, Matthias Karner, Georg Traar, Jan Henjes, Wilfried Sihn: „Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification“. IFAC-PapersOnLine, Volume 51, Issue 11, 2018, p. 1016 ff., ISSN 2405-8963

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

[pi40zvei2020] Plattform Industrie 4.0: „Details of the Asset Administration Shell“; Federal Ministry of Economic Affairs and Energy, 2020. Online: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details-of-the-Asset-Administration-Shell-Part1.pdf

[RAMI40-2017] Heidel R., Hoffmeister M., Hankel M., Döbrich U.; „Basiswissen RAMI4.0 – Referenzarchitekturmodell mit Industrie 4.0 Komponente“; Beuth Verlag Berlin, 2017, ISBN 978-3-410-26482-8

[Rode2018] Gerda Rodewald: „Virtuelle Inbetriebnahme einer Werkzeugmaschine mittels Hardware-in-the-Loop“, Masterthesis an der Fachhochschule Salzburg, 2018.

[Spring2017] Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon: „Digitaler Zwilling“ (2017). Online: wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371/version-189152

[VDI2206] VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, Juni 2004. Online: https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2206-entwicklungsmethodik-fuer-mechatronische-systeme

[VDI2770] VDI 2770 Blatt 1: „Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen - Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie – Grundlagen“. 2018-10 / Entwurf. Online: www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2770-blatt-1-betrieb-verfahrenstechnischer-anlagen-mindestanforderungen-an-digitale-herstellerinformationen-fuer-die-prozessindustrie-grundlagen

[VDI3693] VDI/VDE 3693 Blatt 1: Virtuelle Inbetriebnahme – Modellarten und Glossar, August 2016. Online: https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdivde-3693-blatt-1-virtuelle-inbetriebnahme-modellarten-und-glossar

[VDI4499] VDI 4499 Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen, Februar 2008. Online: https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4499-blatt-1-digitale-fabrik-grundlagen

[VDMA40001] VDMA 40001-1: 2020-06 OPC UA for Machinery – Part 1: Basic Building Blocks, Juni 2020. Online: https://opcua.vdma.org/catalog-detail/-/catalog/3803

[Wiki2018] Wikipedia: “Digital Twin” (2018). Online: en.wikipedia.org/wiki/Digital_Twins

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Anhang B: Digitales Transferzentrum Salzburg (DTZ)

Das Digitale Transferzentrum Salzburg (DTZ Salzburg) ist eine vom Land Salzburg im Rahmen der Wissenschafts- und Innovationsstrategie Salzburg 2025 (WISS 2025[10]) geförderte Maßnahme. Durch Bündelung der Forschungskompetenzen der Fachhochschule Salzburg und Salzburg Research im Bereich der Digitalisierung erhalten heimische Betriebe - insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen - Zugang zu aktuellen Forschungsergebnissen, Innovationen und Digitalisierungs-Technologien.

Themenfelder des DTZ

Thematisch ist das Digitale Transferzentrum in den folgenden Feldern der Digitalisierung tätig: Digital Twins, Smart Logistics & Mobility, Kollaborative Fertigung sowie Digitale Geschäftsmodelle & Smart Services.

Digital Twins	Durch Industrie 4.0 werden die reale und virtuelle Welt zunehmend vernetzt, Mensch und Maschine arbeiten Hand in Hand. Digital Twins, das virtuelle Abbild eines Produkts, einer Produktionsanlage oder eines Prozesses, spielen eine immer größere Rolle im gesamten Produkt- bzw. Anlagenlebenszyklus. In Demonstrationslabors veranschaulichen Show Cases und Demonstratoren die Anwendungs- und Nutzungsszenarien in den Bereichen Engineering, Betrieb und Instandhaltung.
Smart Logistics & Mobility	Gemeinsam mit Unternehmen entwickeln wir aktuelle Werkzeuge, Methoden und Lösungen aus der Grundlagenforschung im Bereich Digitalisierung und Industrie 4.0 für die praktische Anwendung weiter. Wir adressieren dabei insbesondere die unternehmensübergreifenden Herausforderungen, die neben technischen Aspekten auch betriebswirtschaftliche oder rechtliche Herausforderungen umfassen. Die Erfordernisse und Herausforderungen von KMU werden dabei besonders berücksichtigt, um die Supply Chain als Ganzes für die digitale Zukunft zu qualifizieren. Des Weiteren bilden selbstfahrende Transportmittel eine wesentliche Voraussetzung für zukünftige Formen der Mobilität. Sowohl Warenlogistik wie auch Personentransport mit autonomen Fahrzeugen bieten neue Herausforderungen und Chancen, die gemeinsam mit Unternehmen weiterentwickelt werden.
Kollaborative Fertigung	Die Digitalisierung bietet neue Möglichkeiten durch die zunehmende Variantenvielfalt, Fertigung kleiner Stückzahlen ohne signifikante Umrüstzeiten oder die Fertigung von Einzelstücken aufgrund individueller Kundenwünsche. Hinzu kommen Einschulung oder Anleitung von Maschinenbedienern und Montagepersonal während der laufenden Produktion sowie die temporäre Verlagerung von Produktionsprozessen. Eine dynamische Kollaboration zwischen Menschen und Maschine, mit

[10] Wissenschafts- und Innovationsstrategie Salzburg 2025 (WISS 2025): https://www.salzburg.gv.at/themen/wirtschaft/wissenschaftsstrategie

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

	weichen Grenzen der Zuordnung von Arbeitsabläufen und wechselseitigen Kontrollfunktionen und der Erfahrungsaustausch zwischen Menschen und selbstlernenden Systemen sind essentiell für die Verwirklichung der Konzepte von digitalen Fabriken. In den Robotik-Labors des DTZ arbeiten Menschen und kollaborative Roboter Hand in Hand.
Digitale Geschäftsmodelle & Smart Services	Digitale Geschäftsmodelle und neue Formen der Dienstleistungen werden in vielen Branchen und Unternehmen zu einer digitalen Transformation führen: Durch Einsatz von Sensorik werden Verbrauchsdaten ermittelt, aufbereitet und ausgewertet. Support-Prozesse, wie zum Beispiel automatisierte Bestellvorgänge oder vorbeugende Instandhaltung werden mittels Prognoseverfahren automatisiert. Technologie-Demonstratoren, Datenbanken und Modelle zeigen die betriebswirtschaftlichen Potentiale digitaler Wertschöpfungsketten.

Leistungsumfang

Das Digitale Transferzentrum versteht sich als Partner von Industrie und KMU und bietet Transferleistungen mit folgendem Leistungsumfang:

Veranstaltungen

- Zugang zu aktuellen Forschungsergebnissen
- Einblick in erfolgreiche Unternehmensprojekte (Best Practice)
- Übersicht zum Stand der Technik in den Themenschwerpunkten des DTZ
- Anregungen und Ideen für eigene Digitalisierungsprojekte
- Vernetzung mit Experten aus Industrie und Wissenschaft

Kleingruppenmodule zu Spezialthemen

- Wissensvermittlung zu den Themenschwerpunkten des DTZ
- Präsentation von Technologie-Demonstratoren und Use-Cases
- Machbarkeits- und Potentialeinschätzungen anhand konkreter Unternehmens-Use-Cases
- Diskussion und Erarbeitung möglicher Anwendungsfälle

Persönlicher Kontakt

- DTZ- Office für die direkte und schnelle Kontaktaufnahme
- Vermittlung der ForschungsexpertInnen der Salzburg Research und FH Salzburg.
- Vor-Ort-Gespräch im Unternehmen zu Anforderungen, Zielen und Lösungsansätzen
- Entwicklung von Projekt- bzw. Umsetzungsvorschlägen

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Anhang C: Autoren

Herausgeber



Georg Güntner ist Senior Researcher bei der Salzburg Research Forschungsgesellschaft, einem unabhängigen Forschungsinstitut mit dem Schwerpunkt Motion Data Intelligence mit Sitz in Salzburg. Die Schwerpunkte seiner Arbeit liegen im Bereich der Begleit- und Akzeptanzforschung von Internet-Technologien und des Internets der Dinge in Produktions- und Instandhaltungsunternehmen. Er koordiniert das "Maintenance Competence Center" und die IoT-Gruppe Salzburg. Im DTZ Salzburg leitet er bei Salzburg Research das Themenfeld Digital Twins.



Simon Hoher ist Senior Lecturer am Studiengang „Informationstechnik & System-Management“ der Fachhochschule Salzburg und leitet den Fachbereich Mechatronik und Robotik. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Smart-Factory-Technologien. Mit seiner Beteiligung wurde vor zwei Jahren die Forschergruppe „Smart Factories & Edge Computing“ und das SmartFactory-Lab an der FH Salzburg gegründet. Im DTZ Salzburg leitet er bei der Fachhochschule das Themenfeld Digital Twins.

Autoren

Wir bedanken uns bei den folgenden Personen für ihre Beiträge:

Autorin / Autor	Organisation	Kontakt
DI Georg Güntner	Salzburg Research Forschungsges.m.b.H.	georg.guentner@salzburgresearch.at www.salzburgresearch.at
DI Michael Eberle	Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG	info@eberle.com www.eberle.com
DI(FH) Dietmar Glachs	Salzburg Research Forschungsges.m.b.H.	dietmar.glachs@salzburgresearch.at www.salzburgresearch.at
DI Dr. Simon Hoher	Fachhochschule Salzburg GmbH	simon.hoher@fh-salzburg.ac.at www.fh-salzburg.ac.at
DI (FH) DI Simon Kranzer	Fachhochschule Salzburg GmbH	simon.kranzer@fh-salzburg.ac.at www.fh-salzburg.ac.at
DI Georg Schäfer	Fachhochschule Salzburg GmbH	georg.schaefer@fh-salzburg.ac.at www.fh-salzburg.ac.at
Christoph Schranz, BSc	Salzburg Research Forschungsges.m.b.H.	christoph.schranz@salzburgresearch.at www.salzburgresearch.at

Wir freuen uns über Feedback, Kritik, Anregungen und Ihre Rückfragen.

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)

Impressum

Das Digitale Transferzentrum Salzburg (DTZ) ist ein Kooperationsprojekt der FH Salzburg (Puch/Urstein) und der Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H (Salzburg). Das Projekt wird im Rahmen von WISS 2025 vom Land Salzburg gefördert.

Titel	Digital Twins im Anlagen-Lebenszyklus (White Paper)
Autoren	Georg Güntner, Simon Hoher (Hrsg.) Mit Beiträgen von Michael Eberle[1], Dietmar Glachs[2], Simon Kranzer[3], Georg Schäfer[3], Christoph Schranz[2] [1] Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG [2] Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. [3] Fachhochschule Salzburg GmbH
Erscheinungsdatum	September 2020
Kontakt	DI Georg Güntner Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. Jakob-Haringer-Straße 5/3 | 5020 Salzburg | Austria T +43-662-2288-401 | georg.guentner@salzburgresearch.at FH-Prof. DI Dr. Simon Hoher Fachhochschule Salzburg GmbH Urstein Süd 1 | 5412 Puch/Salzburg | Austria T +43-50-2211-1339 | simon.hoher@fh-salzburg.ac.at
Copyright	Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. Jakob-Haringer-Straße 5/3 | 5020 Salzburg | Austria T +43-662-2288-0 | info@salzburgresearch.at Fachhochschule Salzburg GmbH Urstein Süd 1 | 5412 Puch/Salzburg | Austria T +43-50-2211-0 | office@fh-salzburg.ac.at
WWW	www.dtz-salzburg.at
✉	office@dtz-salzburg.at

Verwendete Fotos und Grafiken

© Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H.
© Salzburg Research, Fotolia.com (Gorodenkoff, zapp2photo, kinwun, ekkasit919, macrovector, PureSolution); Shutterstock.com (M.Style)
© Fachhochschule Salzburg GmbH
© Eberle Automatische Systeme GmbH & Co KG
Sofern nicht anders angegeben

© Digitales Transferzentrum Salzburg (2020)